



Fundusze Europejskie
Wiedza Edukacja Rozwój

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny



Wpływ zawiesin na ekosystem rzeki

Roman Żurek



ZAKŁAD BADAŃ EKOLOGICZNYCH

31-425 Kraków, ul Rogatka 9, Tel. kom. 508 393988, NIP 676-102-23-95

Kraków, Kwiecień 2019

Spis treści

Wstępu słów kilka.....	3
Przykłady	3
Przykład 1.	3
Przykład 2	4
Przykład 3.	5
Skutki zawiesin w zbiornikach wodnych.....	6
Resuspensja	7
Zamulanie.	8
Studium przypadku- sprawa I C 2127/12	17
1. Stan nienormalny	17
Stan normalny - naturalna zawartość zawiesin w rzekach.....	18
3. Niektóre cechy zawiesin	18
4. Wpływ nadmiernej ilości zawiesin na ekosystem.	19
5. Wybrane mechanizmy działania zawiesin na ryby	20
6. Skutki populacyjne i osobnicze.....	22
7. Skutki cytologiczne	22
8. Stanowiska organizacji rybackich	23
9. Środki zapobiegawcze – możliwe ale czy racjonalne.	24
Wycena strat gospodarstwa	25
Literatura do studium przypadku	30
Literatura	30

Wstępu słów kilka

Ekspertyza posiada dwie główne części, które wzajemnie uzupełniają się. Część pierwsza jest rozdziałem przygotowywanej do druku książki, a druga Studium przypadku - sprawa I C 2127/12 jest opinią dla sądu w unikalnej sprawie o odszkodowanie za mącenie wód potoku. Gospodarstwo dysponując swoimi 12 stawami + 2 rowami tuczowymi o łącznej powierzchni 3500 m² (35 arów) produkowało rocznie 14910 i 12 895 kg pstrągów odpowiednio w roku 2002 i 2003. Autor wycenił straty hodowcy za 2 lata na kwotę **1 152 961 zł**. Ekspertyza pokazuje jak wielkie straty przynosi nieodpowiedzialne mącenie wody w rzekach i potokach. Problem tkwi w tym, że prywatny właściciel upomni się o swoje straty w sądzie a właściwe organy państwa (RDOŚ) nie widzą problemu chociaż problem jest.

Przykłady

Analizowano problem wprowadzania zawiesin do rzeki w czasie prac hydrotechnicznych na rzece Biała. Na tej rzece PGW Wody Polskie realizują projekt „Przywrócenie ciągłości ekologicznej i realizacja działań poprawiających funkcjonowanie korytarza swobodnej migracji rzeki Białej Tarnowskiej”. Wykonawca nie zawsze stosuje tam dobre praktyki i w konsekwencji dochodzi do łamania zasad i szkód.

Przykład 1.

Grybów – zabudowa progowa km 72+050 – 72+365

Prace powodowały znaczące zmętnienie wody w Białej. Wysoka zawartość zawiesiny, przekraczająca normę nawet ponad 20-krotnie utrzymywała się jeszcze poniżej stopnia w Stróżach, około 5 km od budowy w Grybowie. Niewielkie przekroczenie normy obserwowano aż do stopnia w Bobowej, 12 km od miejsca mącenia (Tab. 1).

Tabela 1. Koncentracje zawiesiny powyżej i poniżej budowanej przepławki w rejonie mostu kolejowego w Grybowie w km 72+050 – 72+365 Białej w dniach 25-26 czerwca 2018 r.

Stanowisko	Zawiesina [mg/L]	Względny km
Grybów, powyżej budowy (próba referencyjna), 25,26 czerwca	18,4 9,1	-0,58
Grybów, bezpośrednio poniżej budowy, 26 czerwca	479,7	0,32
Biała Niżna, most, 26 czerwca	616,8	2,25
Biała Niżna, 25, 26 czerwca	97,9 360,0	3,42
Stróże, powyżej modernizowanego stopnia 25, 26 czerwca	127,4 202,0	4,39
Stróże, poniżej modernizowanego stopnia , 25, 26 czerwca	155,8 267,0	4,59
Wilczyńska most, 26 czerwca	43,2	8,69
Jankowa, nowy most, 26 czerwca	29,2	9,77
Bobowa, nowa przepławka, 25 czerwca	27,8	11,88

Przykład 2

Miejsce Florynka I i II

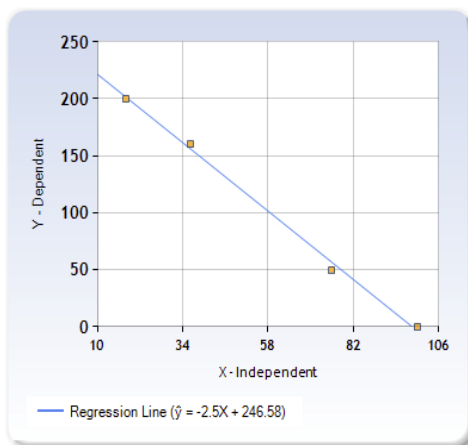
Aby zmierzyć męcenie powodowane pracami budowlanymi w sposób prawie ciągły zastosowano loggery światła. Jeden traktowany jako referencyjny był umieszczony w rzece powyżej miejsca prac, a drugi 300 metrów poniżej miejsca prac. Oba loggery umieszczono na głębokości 10 cm, co było wystarczające aby były cały czas pod wodą w okresie 1 tygodnia. Loggery rejestrowały światło co 15 minut. Wcześniej loggery przekalibrowano w roztworach o znanym stężeniu zawiesiny rzecznej i z taką samą warstwą wody nad loggerem na jakiej były ekspozowane w rzece. Ustalono, że praktycznie przez cały dzień prace powodowały zmęcenie na poziomie około 100 do 250 mg/L.

Stężenie zawiesiny w funkcji dochodzącego światła (luxy) jest następujące:

$$\hat{y} = -2.50242X + 246.58338$$

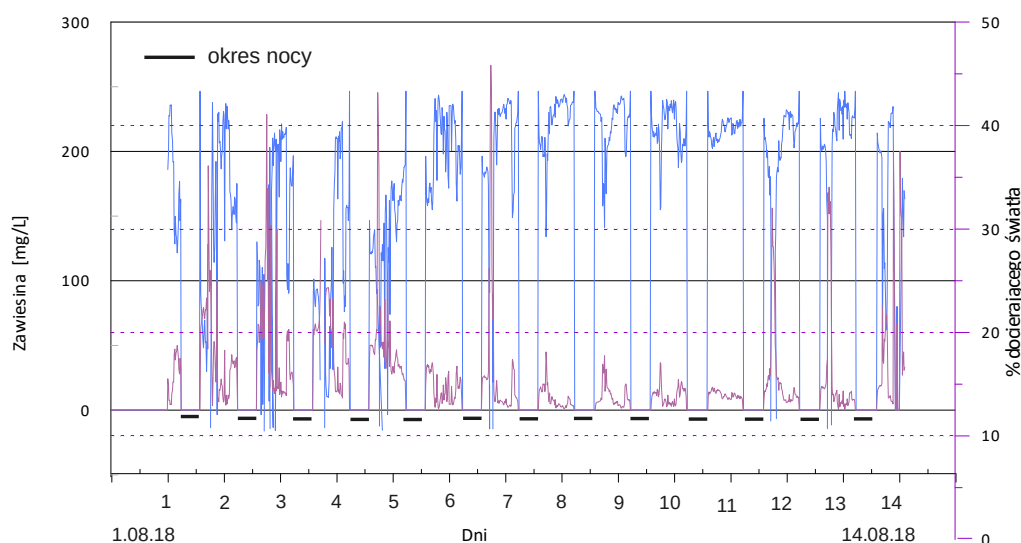
Gdzie: Y – stężenie zawiesiny

X - % światła docierającego na głębokość 10 cm.



■ Rys. 1. Krzywa kalibracyjna relacji zawiesina-swiatło

■



- Rys. 2. Półciągły (z wykluczeniem nocy) pomiar koncentracji zawiesin poniżej Florynki dolnej. W okresie nocy pomiar był niemożliwy. W ciągu dnia koncentracje zawiesin wahały się od 100 do 250 mg/L.

Przykład 3.

Rzeka Biała, Śnietnica i Grybów 17 kwietnia 2019r. Prace przy przebudowie progu poniżej mostu drogowego w drodze nr 981 w Grybowie oraz drodze Florynka-Izby nr 1503 K. Pomiary stwierdziły ilość zawiesin nawet 1382,4 mg/L podczas gdy rzeka niosła zaledwie 1,32 mg zawiesin w litrze wody.

Tabela 2. Koncentracje zawiesin stwierdzone poniżej prac hydrotechnicznych na rzece Biała w Grybowie i w Śnietnicy.

miejsce	mg/L
Powyżej miejsca prac	1.32
16.04.19 Grybów most	323.2
17.04.19 Grybów most	837.2
16.04.19 Śnietnica I 1/1	370
17.04.19 Śnietnica I 1/2	1382.4



Fot. 4. Śnietnica II. Zniszczone koryto



Fot. 5. Śnietnica II. Zmętnienie poniżej budowy



Rys. 6. Zmącenie wody w Śnietnicy dolnej spowodowane pracami na Śnietnicy górnej. 9 kwiecień 2019r.

Skutki zawiesin w zbiornikach wodnych

Wprowadzenie zawiesin do toni wodnej może nastąpić kilkoma drogami:

- wraz z wezbrzeniami wody bogate w zawiesinę zostają wprowadzone do zbiorników
- resuspensja osadów powodowana wiatrem i falowaniem
- bioturbacja (mieszanie osadów przez faunę denną lub ryby).
- mechaniczne przemieszczanie osadów w korycie rzeki (działalność człowieka)

Niezależnie od sposobu wprowadzenia zawiesiny do środowiska wodnego jej wpływ na biocenozę jest szkodliwy na poziomie gatunku. Dla ekosystemu jest to jeden z czynników katastroficznych, podobnie jak niskie lub wielkie przepływy, lata upalne itp.

Zawiesina mineralna w zbiornikach zaporowych eliminuje głównie skorupiaki. Wrotki przeżywają okresy dużych zmętnień. Mechanizm eliminacji jest dość prosty. Skorupiaki jako filtratory wypełniają mineralną zawiesiną przewód pokarmowy. Wartość pokarmowa takiej zawiesiny jest zerowa. Wysoki ciężar właściwy minerałów zawiesinowych stanowi dodatkowe obciążenie zwierząt. Częstki minerałów przechodząc przez przewód pokarmowy niszczą nabłonek i ulegają sklejeniu wydzielinami przewodu pokarmowego. Takie fekalne pellety, większe od cząstek zawiesiny, są wydalone do środowiska. Toną znacznie szybciej od zdyspergowanej zawiesiny. Oznacza to, że zooplankton przyczynia się do szybszego sklarowania wody w zbiornikach. Jeśli jednak ilości zawiesin są duże i okres zmętnienia jest długi, skorupiaki planktonowe giną, (Żurek 1980. 1982, Lewkowicz, Żurek 1991). Zmętnienie ogranicza światła do głębszych warstw wody, co prowadzi do zmniejszenia produkcji pierwotnej, Fig. 7. Glony żyjące na powierzchni osadów (epipelon) są przysypywane. Niektóre z nich, mogące przestawić swój

metabolizm z fotosyntezy na odżywianie mikсотroficzne lub heterotroficzne mogą w przeżyć. Jeśli są dodatkowo obdarzone możliwością ruchu mogą wrócić do toni wodnej.

Resuspensja

W niewielkich zbiornikach, np. w stawach wielkość resuspensji osadów zależy od wielkości obsady i biomasy ryb. Badania Lewkowicz i Żurek (1991) metodami pułapek osadu, wykazały, że w ciągu doby masa resuspendowanej zawiesiny przekracza 5-6 razy biomasę ryb w stawie, Fig. 8. Węgiel organiczny w wodzie, w stawach z wysoką obsadą pochodzi głównie z resuspendowanych osadów. Zwiększona koncentracja osadu w wodzie przekłada się na zmniejszenie grubości warstwy trofogenicznej i tym samym zmniejszenie produkcji pierwotnej. Małe zbiorniki wodne szybciej i mocniej ulegają zmaczeniu przez ryby niż głębsze, Fig. 9.

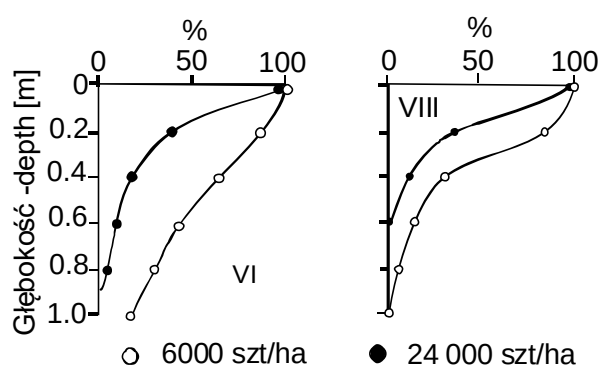


Fig. 7. Średnia miesięczna produkcja pierwotna fitoplanktonu w zależności od wielkości obsady *C. carpio*. Wg. Lewkowicz & Żurek 1991.

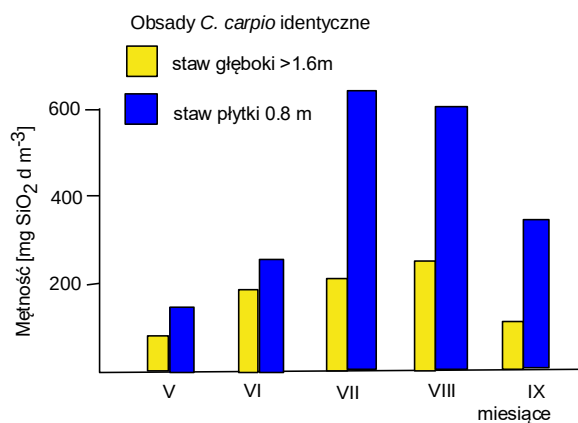


Fig. 8. Efekt głębokości stawu na mętność wody. Obsady takie same w obu stawach. Wg. Lewkowicz & Żurek 1991

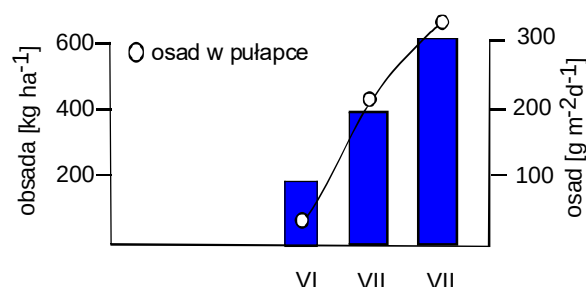


Fig. 9. Efekt biomasy obsady na ilość złapanego osadu w pułapkach. Wg. Lewkowicz & Żurek 1991.

Zamulanie.

Nawet niezbyt uważny obserwator zauważył różnice w faunie potoku kamienistego i kamienistego, ale zamulonego. Rzeczywiście, drobnoziarniste osady zamulające kiedyś przemyte kamieńce tworzą nowe siedliska, które nie są tolerowane przez dotychczasowych mieszkańców. Każdy gatunek może egzystować jedynie w takim środowisku, do jakiego przystosował się w procesie ewolucyjnym i takich odpowiednich siedlisk szuka. Dlatego żadne z pojedynczych mikrosiedlisk nie jest preferowane przez wszystkie grupy bezkręgowców. Np. *Ecdyonurus* sp. gr. *venosus* i *Rhithrogena semicolorata*, gatunki występujące w tym samym czasie wybierają różne podłoża. *Ecdyonurus* sp. gr. *venosus* dominuje na gruboziarnistym substracie, podczas gdy *Rhithrogena semicolorata* liczniej występuje na drobnoziarnistym podłożu, (Crosa G. i Buffagni, 2002). Oczywiście częściowo te nisze obu gatunków nakładają się.

Sedymentacja takich osadów może być korzystna dla jednych gatunków, ale u innych może powodować większy dryft, wpływać na oddychanie, aktywność odżywiania, a dla innych szkodliwa w inny sposób.

Potwierdzają to np. badania Ferrington i in. 1995, którzy stwierdzili wybiórczość siedlisk dennych przez muchówki Chironomidae. Ta grupa była najliczniejsza w siedliskach lenitycznych (pools) 45 gatunków. W miejscach nurtowych było 20 gatunków a w bystrzach 13 gatunków (*Tanytarsus* spp., *Corynoneura* spp. i *Thienemanniella* spp.).

Tymczasem, działalność człowieka gwałtownie zwiększyła różnego typu procesy (erozja dróg polnych, melioracje, regulacje, wydobywanie piasków) skutkujące wzrostem koncentracji zawieszin. Zjawisku temu możemy przypisać obserwowany w Polsce zanik jętek. Problem ten jest znany także w innych krajach (Peeters i in. 2006) i zmobilizował badaczy do przyjrzenia się mechanizmom takiego wpływu drobnych osadów na makrobezkręgowce wodne.

Osmundson i in. 2002 zauważają na badanym przez siebie potoku rosnący wpływ drobnoziarnistych osadów na siedliska, jako wynik regulacji rzeki. O ile roztopy generowały wystarczająco duże przepływy do uruchomienia i wypłukania mułu z bardziej gruboziarnistego substratu, to po regulacjach, średni okres między pikami większych przepływów wydłużył się z około 1.23- 2.77 roku do 2.7 – 13.5 lat. Wydłuża to okres akumulacji frakcji drobnoziarnistej i zmniejsza produkcję biologiczną.

Inne badania przeprowadzone przez Kaller i Hartmana (2004) wykazały silną ujemną zależność zawartości drobnych cząstek (<0.25mm, które stanowią 0.8-0.9% składu substratu na odcinkach bystrzy), ze składem gatunkowym i ilością EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera). Dla kontrastu – gatunki z rodzin/rzędów Chironomidae, Oligochaeta i Sphaeriidae, są często związane z drobnoziarnistymi osadami, w których mogą kopać swoje korytarze i domki. Gdy koryto rzeczne ulega degradacji przez drobne osady, zbiorowisko wodnych bezkręgowców staje się mniej zróżnicowane, (bo zanikają owady z grupy EPT) i liczebnościowo staje się zdominowane przez gatunki tolerujące drobne osady. Jeśli rozpatrzymy poszczególne grupy owadów to okazuje się, że niskokoronowe progi powodują takie niekorzystne zmiany siedliskowe, że % EPT w takich miejscach jest znacznie niższy niż na stanowiskach referencyjnych. Te trzy grupy owadów potrzebują prądu wody i żwirów, unikają substratu związłego i gładów. Skutki są, podobne jak w przypadku wielkich zapór i zbiorników, Tiemann et al 2005.

Dlaczego te grupy owadów wycofują się z zamulanych siedlisk? Regulacje i zamulenie siedlisk Mozy (Meuse) spowodowały wyginięcie jętki *Heptagenia sulphurea* w 20-tym wieku Holandii. Gatunek ten jest charakterystyczny dla potoków o kamiennym podłożu. Ponownie odkryto gatunek w roku 2003 w małym dopływie Mozy. Pomimo iż jakość wód Mozy poprawiła się, to nadal wysokie koncentracje zawieszin uniemożliwiają powrót jętki do tych wód. Analiza przyczyn ustąpienia gatunku wykazała, że zawiesina redukuje ilość dostępnego pokarmu dla tej jętki, Peeters i in. 2006. Peryfiton, który stanowi pokarm tej jętki jest stale zamulany osadem, który ogranicza dostępność pokarmu i rekolonizację siedlisk. Uniemożliwia to przeżycie nie tylko tej jętki, ale i innych gatunków zeskrobujących pokarm z twardego podłoża.

Osady mogą grzebać larwy dennych owadów. Wood *et al.*, (2005) obserwowali taki proces dla 4 gatunków: nimf Ephemeroptera (*Baetis rhodani*), Plecoptera (*Nemoura cambrica*), larw Trichoptera (*Hydropsychidae pellucidula*) i równonoga *Asellus aquaticus*. Trzy z tych gatunków negatywnie znosiły zagrzebywanie osadami. *Baetis rhodani* nie potrafił wydobyć się z żadnego testowanego osadu. *A. aquaticus* pozostawał w pułapce osadu >2mm a *H. pellucidula* <0.5 mm. Filtratory, takie jak larwy chrzączek z rodziny Hydropsychidae są również bardzo podatne na wzrost akumulacji osadu kiedy się odżywiają (Wood *et al.*, 2005). Redukcja przestrzeni interstycjalnej między ziarnami gdy osad użyty do zagrzebania był <2mm, prowadzi do większej masy osadu przygniatającego odwłok *H. pellucidula*. W rezultacie konieczny jest większy wysiłek do wydobywania ciała a w tym czasie zwierzęta mogą być podatne na drapieżnictwo (Wood *et al.*, 2005).

Do podobnych wniosków doszli Harrison i inni (2007), którzy analizowali wpływ drobnych osadów (<4 mm) na biocenozę rzeczne używając indeksów bentosowych. Wiele larw owadów charakterystycznych i typowych dla rzek górskich (Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera = EPT) dostarczających rybam dostępnego pokarmu, szczególnie podlega wpływowi osadów. Jak powiedziano wyżej, dzieje się tak z powodu zahamowania produkcji peryfitonu który jest ich pokarmem, zmniejsza ilość dostępnego do oddychania tlenu i przestrzeni interstycjalnej jako schronienia. A są to podstawowe warunki do egzystencji wielu gatunków, (Waters, 1995). Zmiany fizyczne siedlisk i spowodowane tym zmiany składu fauny i flory odbijają się na charakterystyce takich odcinków stosownymi wskaźnikami. Jak to wpłyną takie zmiany składu gatunkowego na indeksy, które charakteryzują to zbiorowisko? Dla przykładu zastosujmy indeks BMWP. Jest to indeks addytywny - będący sumą punktacji przypisanej poszczególnym rodzinom. Rodziny z grupy EPT są punktowane wysoko, 7 do 10, a Chironomidae 3, Oligochaeta 2. Jeśli w środowisku spotkamy zwierzęta z tej pierwszej grupy, indeks będzie wysoki, jeśli z tej drugiej grupy, indeks będzie niski. Indeks ten skalibrowany do 5 stopniowej skali na potrzeby oceny stanu ekologicznego określi wtedy stan ekologiczny na podstawie zbiorowiska bentosowego w kategorii 'bardzo dobry' lub np. 'zły'.

Skutki zamulania dla ryb

Zamulanie rzek jest również niezwykle ważne dla egzystencji ryb, które to tarła potrzebują czystych żwirów. Są to ważne gospodarczo gatunki: troć, łosoś, lipień, pstrąg. Trocie i łososi składają ikrę w gniazdach wykopanych w żwirach dna, którą potem zasypują, rys. 10. Z tego powodu, badanie przeżywalności tej ikry w zależności od różnych czynników nie jest łatwe.

Badania muszą brać pod uwagę trzy aspekty:

- a) wpływ akumulacji osadów nieorganicznych i organicznych na przepuszczalność żwirów i szybkość przepływów interstycjalnych;
- b) wpływ zapotrzebowania O_2 związanego z infiltrującym materiałem na koncentracje tlenu międzyżwirowego;
- c) wpływ frakcji drobnoziarnistej (gliny) na wymianę tlenu przez błonę jajową.

Tarlaki łososi i troci po dotarciu na tarliska przygotowują w dnie odpowiednie gniazda. Wiąże się z tym przemieszczanie materiału dna i jego przepłukiwanie. Na sztucznych tarliskach o objętości 649–1323 m³ analizowano skutki działania ryb. Doświadczalne tarliska traciły 3–20 % objętości żwirów rocznie w czasie przepływów 8 –70 m³s⁻¹ i 2.6–4.6% przemieszczonego materiału w czasie krótkotrwałych (19 dni) przepływów rzędu 57 m³s⁻¹. W ciągu roku kamienie denne przemieszczały się średnio o 5 m, a skrajnie o 120 m (badania te wykonano techniką znakowanych kamieni w różnych frakcjach rozmiarowych). Merz et al. 2006 wyliczyli, że 538 tarlaków czawyczy (*Oncorhynchus tshawytscha*) może przekopać całe tarlisko o objętości 1217 m³ żwirów.

SPAWNING BEHAVIOUR OF SALMON & TROUT

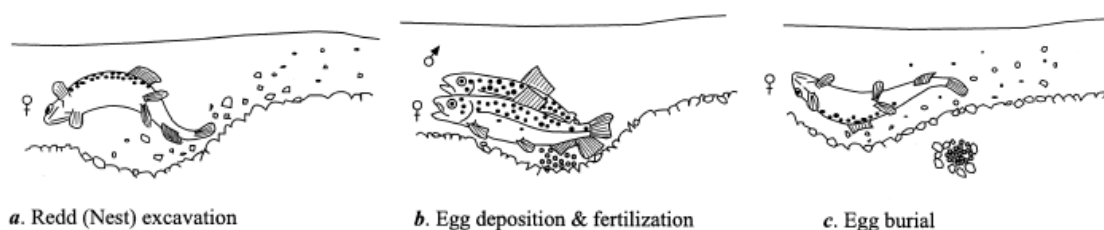
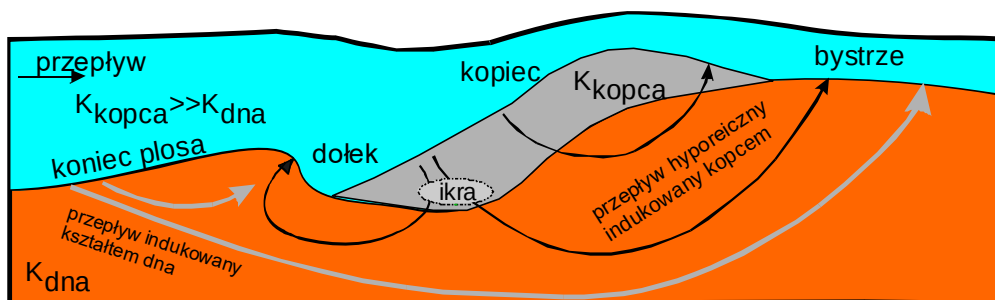


Fig. 2. Salmon spawning behaviour: (a) redd excavation, (b) egg deposition, and (c) egg burial.

Rys. 10. Zachowania tarłowe troci i łososi, wg. Soulsby et al. 2001. A – kopanie gniazda, B -składanie ikry C- zasypywanie ikry.



Rys. 11. Topografia przekroju podłużnego miejsca potarłowego na końcu płosa pokazujący wzrost przewodnictwa hydraulicznego w kopcu wynikający z odpłukania mułów w czasie tarła. K_{dna} jest przewodnictwem hydraulicznym nienaruszonego dna. Zmodyfikowane wg Burner (1951).

Przewodnictwo hydrauliczne w tarlisku wynosi $K_{kopca} = 0.05 \text{ m s}^{-1}$, a w otaczających osadach $K_{dna} = 10\text{--}3 \text{ m s}^{-1}$, Tonina i Buffington 2009.

Po utworzeniu gniazda i zasypaniu ikry w materiale dna zachodzą fizyczne procesy infiltracji gruboziarnistych osadów materiałem drobnoziarnistym z zawiesin, który rzeka niesie lub wlecze. Akumulacja drobnych osadów w dnie rzeki jest silnie skorelowana z dostępnością tych osadów w wodzie (Greig et al. 2005a, Carling, 1986). Pochodzenie tych osadów można ustalić techniką odcisku palca (fingerprint) polegająca głównie na charakterystycznych cechach osadów, głównie proporcji radionuklidów ^{137}Cs i organicznego C i N. Posługując się tą techniką Walling et al 2003 określili w 18 rzekach łososiowych pochodzenie mułów (definiowanych jako frakcja $>0.125 \mu\text{m}$) infiltrujących żwir w tarliskach. Wykazali, że frakcja gliniasta ($< 63 \mu\text{m}$) w osadach interstycjalnych stanowi 76 % osadów interstycjalnych, podczas gdy frakcja piaskowa (63-125 μm) tylko 24 %. W około 10 procentach frakcja ta pochodzi ze źródeł powierzchniowych a w 90 procentach z brzegów i źródeł podpowierzchniowych. W niektórych rzekach erozja powierzchniowa może być znacznie większa i wtedy udział spływu w dostawie tej drobnoziarnistej frakcji do osadu interstycjalnego sięga 70 % lub więcej.

Struktura dna w miejscach naturalnych tarlisk jest różna w różnych rzekach. Udział frakcji $<2 \text{ mm}$ może wynosić 10 do 31 %, a rozmiar frakcji $D_{50} \text{ (mm)}$ 11- 54. W angielskich rzekach infiltracja żwirów drobną frakcją została oceniona na $0.09 \text{ g cm}^3 \text{ tydzień}^{-1}$. Przy większych przepływach infiltracja wzrasta 2-3 krotnie. Materiałem infiltrującym są głównie piaski $<1\text{mm}$ i w niewielkim stopniu muły (2%). Udział infiltracji przez frakcję organiczną był względnie niski, $3 \text{ g cm}^3 \text{ tydzień}^{-1}$, Soulsby 2001.

Wszystkie wezbrania, które niosą zawiesinę wpływają na szybkość przepływu wód interstycjalnych. Zainstalowanie w gniazdach specjalnych sensorów pozwoliło stwierdzić, że małe i średnie wezbrania, które odkładają 7 kg m^{-2} piasków redukują przepływy interstycjalne. Gdy koncentracja zawiesiny przekraczała 7 mg dm^{-3} dziennie (dawka ta jest definiowana jako

obszar pod krzywą zależności koncentracji od czasu) przepływy interstycjalne przez kopcu były redukowane 4-5 krotnie. Przepływ międzyżwirowy (0.1-0.6 mm/s) może być wyzwalany przez 2 metrowe miejsca aktywności tarłowej, które mają zwiększone przewodnictwo hydrauliczne, Zimmermann i Lapointe 2005.

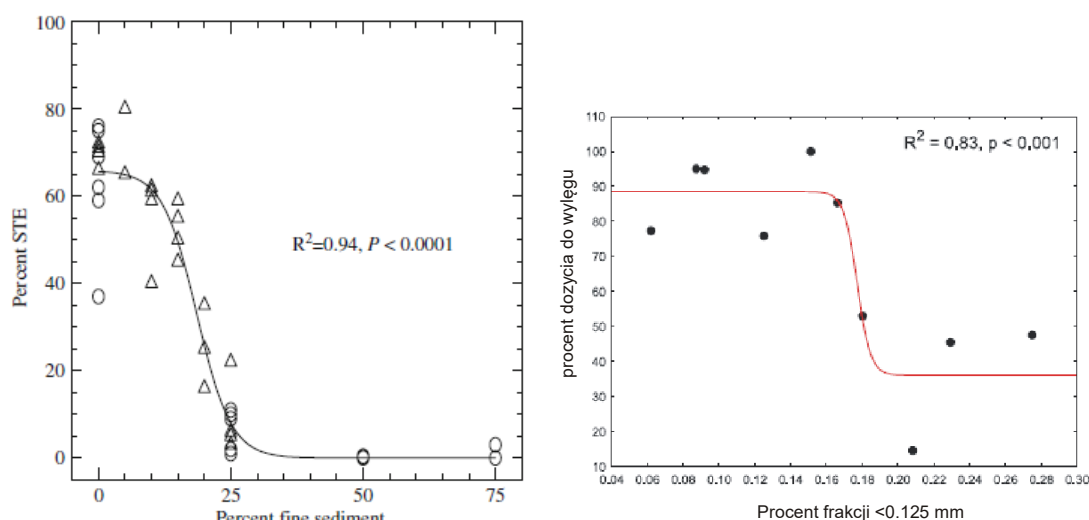
Zamulenie żwirów nawet piaskiem powoduje zwiększenie śmiertelności ikry i wylęgu. Soulsby et al. 2001 określili na 6 do 86 % śmiertelność ikry w gniazdach łososi infiltrowanych zawiesiną, która w badanej rzece składała się w 60 % z frakcji średniego i grubego piasku i niewielkim udziałem frakcji mułu i glin (2%).

Analiza statystyczna wpływu cząstek <2 mm, podzielonej na 4 podfrakcje na dożywanie ikry do wylęgu wykazała wysoką negatywną korelację dla bardzo małych cząstek i szlamu (silt). Z powodu autokorelacji tych dwóch najmniejszych frakcji nie udało się ustalić ich oddzielnego wpływu na śmiertelność, dlatego obie frakcje w dalszych pracach potraktowano łącznie. Te skombinowane razem frakcje (<0.125mm) nazwano Muł i Bardzo Drobnny Piasek (SVFS). Wtedy uzyskano bardzo silną korelację między zmiennymi ($R^2=0.83$, $p<0.001$), Levasseur i in. 2006. Oznacza to, że frakcja SVFS w gnieździe wyjaśnia 83% zmienności w przeżywaniu embrionów do fazy wylęgu z progiem przy wartości około 0.2% SVFS, powyżej którego przeżywalność spada gwałtownie poniżej 50 %. Inni autorzy określili zawartość progową szlamu na 0.3 do 0.4 %, Julien i Bergeron (2006).

Zależność między procentem mułu i bardzo drobnego piasku w kopcach a przeżywalnością embrionów łososa atlantyckiego (*S. salar*) (Rys. 12) Levasseur i in. (2006) opisują równaniem

$$\%S = 36,09 + \frac{54,49}{1 + e^{\frac{\%SVFS - 0,17728}{0,0037}}},$$

gdzie %S = procent przeżycia, a %SVFS= procent mułu i bardzo drobnego piasku < 0.125 mm, rys. 12.



Rys. 12. Z lewej: wpływ udziału frakcji gliniastych na przeżycie i zdrowy wylęg *Moxostoma robustum* wg. Jennings 2010. Seria 1 roku oznaczona (o), seria drugiego roku badań (Δ); z prawej wyniki podobnych badań zależności między procentem mułu i bardzo drobnego piasku w kopcach i przeżywalnością embrionów łososia atlantyckiego (*S. salar*), wg Levasseur i in. 2006.

Ikra łososia zużywa od 0.0024 to $0.0038 \text{ mg O}_2 \text{ jajo}^{-1} \text{ h}^{-1}$, średnio $0.0032 \text{ mg O}_2 \text{ egg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Wprowadzenie gliniastych zawiesin do komory, w której inkubowano ikrę spowodowało utworzenie na błonie jajowej cienkiego filmu ($<1\text{mm}$) osadu. Spowodowało to zmniejszenie tempa konsumpcji tlenu przez jajo. Dodanie 0.3 g gliny redukuje oddychanie o 41% , a dodanie dalszych 0.2 g gliny zredukowało oddychanie do 98% ! Zawiesina prawdopodobnie tworzy nieprzepuszczalną dla tlenu błonę albo blokuje fizycznie kanały transportu tlenu na błonie jaja, co prowadzi do zmniejszenia szybkości oddychania, Greig et al. 2005b. W naturalnych warunkach dostawa tlenu do ikry inkubowanej w gniazdach zależy od złożonych interakcji w żwirach i czynników poza żwirami. Wpływa na to topografia koryta, przepuszczalność podłoża, efekt szorstkości, szybkość przepływu nad dnem i w dnie, konsumpcja tlenu przez materiał infiltrujący dno, czasowa i przestrzenna zmienność dopływów wód gruntowych. Czynniki te określili Greig et al. 2007. Jest oczywiste, że parametry przypływu, infiltracji itp. zmieniają się, w różnych miejscach przestrzennej przecież struktury kopca nad ikrą. Oprócz pomiarów bezpośrednich in situ lub warunkach doświadczalnych te skomplikowane warunki mogą już być opisane w trzech wymiarach modelami matematycznymi (Fu-Chun Wu 2000, Tonina i Buffington 2009). Autorzy ci, rozwijali trójwymiarowy matematyczny model rozkładów szybkości przepływu wody, koncentracji tlenu i przewodnictwa hydraulicznego gniazd łososi,

aby określić wartości tych kluczowych parametrów w miejscu złożenia pakietów ikry. Przepłukanie żwirów w czasie kopania gniazda jest podstawowym czynnikiem zwiększającym przewodnictwo hydrauliczne, a w ślad za tym dostawę tlenu do ikry. Sam kopiec indukuje cyrkulację hyporeiczną, tym bardziej, że łososie budują go na pograniczu płosa i bystrza. Pomiar wykonany wysokorozdzielczymi impulsowymi dopplerowskimi prędkościomierzami udowodnił większe szybkości przepływu i liczby Froude'a¹ nad obszarem kopca (tailspill) niż pozostałym otoczeniem, Marchildon et al. 2010. W procesie kopania dołka dla gniazda łososie aktywnie modyfikują środowisko, aby było przyjazne dla rozwoju potomstwa.

Zamulanie żwirów może prowadzić do eksterminacji gatunków. Sytuacja taka dotyczyła ryby *Moxostoma robustum* (robust redhorse), która przez pewien czas była już uważana za gatunek wymarły. Ten obecnie rzadki gatunek ssącej ryby występuje w stanach Georgia, Południowa i Północna Karolina, USA. Tarło tej ryby przebiega nad luźnym żwirem. Ikra i larwy mogą silnie reagować na obecność drobnego osadu w żwirze. Eksperymentalnie sprawdzono jak ikra i wylęg znoszą warunki zamulenia żwiru. Stwierdzono, że w przemytym żwirku przeżywa 70 % ikry, ale przy zwiększeniu udziału frakcji drobnej do ponad 15 %, przeżycie ikry drastycznie spadło do około 8 % lub mniej, Jennings et al. 2010, rys. 12. Przy nieznacznym udziale drobnej frakcji wylęgające się ryby skuteczniej mogą się przedostać do luźnego żwiru ich szanse na wylęg rosną. W naturalnych warunkach osady zawierają 24-50 % frakcji drobnej, ale ryby przed przystąpieniem do tarła odpłukują żwiry z tej drobnej frakcji.

Szerokiego przeglądu szkodliwych skutków osadów dokonali Wood i Armitage 1997.

Przedstawione dowody szkodliwego wpływu zamulania rzek powinny być sygnałem do prawidłowego zarządzania zlewniami i wodami. W okolicach rzek, szczególną uwagę należy zwracać na minimalizowanie dopływu drobnych zawieszin, stosowanie odstożników, celowe działania zmniejszające erozję gleb z terenów uprawnych, itp. W tych działaniach należy brać pod uwagę składnik nieorganiczny i organiczny ładunków wprowadzanych do strumieni. Działania powinny być wspierane poszukiwaniem źródeł i dróg przejścia osadów ze zlewni do rzek. Stosowne zapisy powinny być również w aktach prawnych.

Zamulanie

Problem zamulania dna jest istotny na rzekach, które nie powinny posiadać w strukturze substratu dennego zbyt dużo bardzo drobnej frakcji osadów, ale z różnych powodów ją posiadają. Zupełnie inaczej jest w rzekach nizinnych, w których energia wody jest niewystarczająca do wypłukania drobnej

¹ w dynamice płynów wielkość bezwymiarowa charakteryzująca wielkość sił bezwładności względem sił ciężkości, $Fr = v^2/gl$, gdzie v -prędkość przepływu, l - długość charakterystyczna, g - przyspieszenie ziemskie

frakcji osadów i dlatego rzeka deponuje takie drobnocząstkowe osady. Każda struktura wielkości cząstek osadów ma swoich mieszkańców którym dany typ osadu odpowiada. Zmiana tej struktury będzie faworyzowała jedne gatunki kosztem innych. Hynes, 1970; Waters, 1995; Wood & Armitage, 1997).

Krótkie podsumowanie sposobu oddziaływania zamulania rzek, które nie powinny mieć zamulonych osadów zawiera praca Harrison et al. 2007. Od dawna a widziano, że drobne osady < 4 mm negatywnie wpływają na florę i faunę rzeki. Takie osady wygładzają koryto rzeki i mogą zabić wodną florę, zatykają przestrzenie interstycjalne między większymi cząstkami podłoża redukując dostępne miejsca schronienia dla organizmów dennych i wzmagają dryft bezkręgowców, Doeg & Koehn, 1994; Waters, 1995; Wood & Armitage, 1997).

Szczególnie wrażliwe na zamulenie dna są Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera (EPT).

Badania Kaller i Hartman (2004) w 7 potokach w Appalachach o różnym stopniu akumulacji osadów dały spójną negatywną zależność bogactwa EPT od drobnego substratu (<0,25 mm) na bystrzach jeśli taka frakcja stanowiła ponad 0,8-0,9% osadu. Inne taksony -Chironomidae, Oligochaeta, Sphaeriidae, które potrafią zakopywać się w drobnym osadzie wykorzystują takie zmienione siedliska. Przy wzroście zamulenia pojawia się punkt w którym różnorodność gatunków a mieszkańców zacznie się zmniejszać bo osadu zostaną zdominowane przez gatunki tolerujące osady drobnocząsteczkowe.

Wzrost ilości zawieszin drobnocząsteczkowych może powodować blokowanie mechanizmów filtracyjnych.

Hogg and Norris (1991) którzy badali Murrumbidgee River stwierdzają że drobne osady dostarczane przez wody burzowe powodują zmiany składu osadu i odpowiadają za niską liczebność i małą różnorodność bezkręgowców w plosach. Płosa mogą być bardziej wrażliwe na skutki zamulania niż bystrza ponieważ są miejscem depozycji osadów (Chessman et al., 2006; Death et al., 2003; Kaller & Hartman 2004)

Reakcja nimf jętki *Baetis rhodani*, widelnicy *Neomura cambrica*, larwy chruścika *Hydropsycidae pellucida* i równonoga *Asellus aquaticus* (Wood et al. 2005) na zasypywanie wykazała że trzy pierwsze gatunki negatywnie reagowały na zagrzebanie. *Baetis rhodani* nie potrafił samodzielnie się wygrzebać żadnego testowanego osadu, *A. aquaticus* i *H. pellucidula* były złapane przez osad > 2 mm.

Eksperymentalne zasypywanie dna rzeki na odcinku 50 m Matthaei et al. (2006) wykazało, że liczba gatunków bezkręgowców i liczba gatunków EPT zmniejszyła się po dodaniu piasku. To doświadczenie wydzieliło efekt wpływu osadów od innych efektów użytkowania zlewni-
spływu nutrietów, organiki itp.

Studium przypadku- sprawa I C 2127/12

Przedmiotem opisu jest wystąpienie hodowcy ryb o odszkodowanie spowodowane zawiesinami wpływającymi do jego stawów z budowanego pola golfowego. Spór miał finał w sądzie w sprawie o sygnaturze akt I C 2127/12 z powództwa Romana Kobylarczyka przeciw Kraków Valley Golf & Country Club Sp. z o.o. w Krzeszowicach. Sprawę prowadził Sąd Okręgowy w Krakowie, Wydział I Cywilny. Sąd uznał, że hodowca poniósł straty i zasądził odszkodowanie z wieloletnimi odsetkami. Autor wycenił straty hodowcy za 2 lata na kwotę 1 152 961 zł. W tym przypadku hodowca dochodził odszkodowania od sprawcy jego strat.

W rzekach czy jeziorach martwe ryby nie wniosą do sądu skargi. Dlatego w cywilizowanych krajach prawo takie mają organizacje społeczne, które powinny przed sądami bronić praw przyrody.

Autor sporządził sądowi następującą opinię.

Cel opinii.

Opinia ma „dotyczyć odszkodowania związanego z zanieczyszczeniem wód rzeki, co miało spowodować wyginiecie ryb w stawach hodowlanych

oraz

wykonanie opinii **na okoliczność ustalenia związku przyczynowego pomiędzy działaniem byłego prezesa zarządu strony pozwanej a szkodą powoda, wysokości i zakresu szkody oraz ewentualnego przyczynienia się powoda do powstania szkody. Ponadto na okoliczność ustalenia, czy powód mógł zapobiec powstałej szkodzie, a jeśli tak to w jakim zakresie.**

1. Stan nienormalny

Za stan nienormalny można uważać zmianę parametrów wody spowodowaną działalnością człowieka. W przypadku zawiesin, składa się na to erozja terenów rolniczych, erozja wąwozowa dróg polnych i leśnych, spływy z powierzchni szczelnych, spływy powierzchniowe. Do tego „tła” dochodzą zanieczyszczenia incydentalne dodatkowo psujące jakiś parametr wody, ale zwykle bardzo silnie w ciągu dłuższego lub krótszego czasu.

W efekcie zsumowania się tych wpływów praktycznie w Małopolsce nie ma rzek przydatnych do bytowania ryb w rozumieniu rozporządzenia Dz. U. nr. 176 poz. 1455 co nie oznacza, że w tych rzekach ryby nie żyją.

Stan normalny - naturalna zawartość zawiesin w rzekach.

Za naturalny poziom zawartości zawiesin w potokach podgórskich o dużym udziale zlewni leśnej uznaje się koncentracje w zakresie od dwóch, trzech miligramów w litrze lub mniej, do 10-15 miligramów w potokach o zlewni rolniczej lub zurbanizowanej. Większe wartości uznaje się za podwyższone.

Chwilowo po silnych opadach koncentracja zawiesin wzrasta do kilkuset miligramów w litrze, ale potoki/rzeki podgórskie klarują się w ciągu kilku- kilkunastu godzin.

Jako wartość progową dla tego parametru przepisy przyjęły koncentrację ≤ 25 mg/litr na podstawie różnych badań i obserwacji, które przełożyły się na stosowny przepis (DIRECTIVE 2006/44/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 6 September 2006 on the quality of fresh waters needing protection or improvement in order to support fish life. OJ L264/20, i polskie – Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4 października 2002 r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody śródlądowe będące środowiskiem życia ryb w warunkach naturalnych Dz. U. Nr 176, poz. 1455).

Kryterium to jest traktowane jak średnia z próbek których musi być pobranych co najmniej 12 w roku. Polskie rozporządzenie nie odnosi się do liczby próbek tylko ogólnie do średniorocznej wartości zawiesiny ogólnej. Niezależnie od liczby próbek. Ponadto można nie zaliczać do średniej próbek z okresów wezbrań. Także „regularnych badań wody nie przeprowadza się jeśli woda jest niezanieczyszczona i nie ma ryzyka pogorszenia jej jakości”.

Takie traktowanie i sposób liczenia parametru „zawiesina” jest inne niż pozostałych parametrów dla których warunek uznaje się za spełniony jeśli 95 % próbek spełnia kryterium wartości progowej

W elastyczności zapisu prawnego o obliczaniu średniej koncentracji zawiesiny omówionej powyżej jest uwzględniona naturalna zmienności koncentracji zawiesin w rzekach i wykształcona odporność ryb na chwilowe wzrosty koncentracji zawiesin.

To, że według przepisów rzeka nie spełnia kryteriów do bytowania ryb (łososiowatych lub karpowatych) nie oznacza, że ryby tych wodach nie żyją. Według danych PIOŚ (np. www.krakow.pios.gov.pl/access/dostep07/ryby_07.xls lub raporty dla innych lat) w województwie Małopolski praktycznie nie ma wód przydatnych dla ryb a wiadomo, że ryby w nich żyją.

Tak ustawione kryterium ma służyć jako informacja dla administratora potoku i innych władz co należy poprawić, ale nie oznacza, że organizmy wodne w tym ryby, nieco gorszych warunków nie wytrzymają.

3. Niektóre cechy zawiesin

Cząstki o średnicy 1 do 100 mikrometrów długo utrzymują się w zawieszynie, większe powyżej 100 mikrometrów sedimentują szybciej. Szybkość sedimentacji drobnych cząstek <0.05 mm w zależności od rodzaju materiału (np. kwarc, węgiel, minerał ilasty) wynosi od setnych części milimetra na sekundę do kilkunastu milimetrów na sekundę w warunkach laboratoryjnych. Energia potoku jest wystarczająca do transportu frakcji piaskowej, pylastej i ilastej (frakcja piaskowa 0,05 mm – 2,0 mm, pyłowa 0,002 mm – 0,05 mm, łąowa < 0,002 mm) i wniesienia ich do stawów gdzie po zwolnieniu szybkości przepływu powoli będą sedimentować. Ziarna 0.05-2 mm mogą być zarówno w zawieszynie jak i wleczone po dnie.

Najszybciej opadają ziarna piasku, najwolniej zaś koloidalne frakcje mineralne i drobne cząstki organiczne. Bardzo istotnym elementem wpływającym na intensywność sedimentacji jest prędkość przepływu wody oraz jej turbulencja. Cząstki o średnicy ziarna poniżej 0,01 mm pozostają w zawieszeniu nawet przy niewielkich prędkościach przepływu (około 0,1 cm/s), podczas gdy cząstki o średnicy około 1 mm sedimentują dopiero przy prędkościach mniejszych niż 8 cm/s (Starmach i in. 1976, Chełmicki 2001). Niektóre opracowania uznają wodę o koncentracji < 20 mg /l za klarowną, 20 do 80 mg/l za opalizującą, mętną a >150 za brudną.

Wniosek jest następujący: ruch przepływającej wody przez stawy plus bełtanie wody pływającymi rybami podtrzymywało utrzymywanie się zawiesin w toni wody i ich oddziaływanie ze skrzelami ryb.

4. Wpływ nadmiernej ilości zawiesin na ekosystem.

Długotrwałe utrzymywanie się wysokiej ilości zawiesin w wodzie jest katastrofą dla ekosystemu wodnego. Niestety, jak zauważył Christopher D. Stone: "ani puszcze, ani wieloryby, ani wilki nie mają możliwości wniesienia sprawy do sądu". Niniejsza sprawa jest zawężeniem szerszej szkody ekologicznej tylko do strat ryb u zainteresowanego, a wcześniej do ośrodka ryb łososiowatych PZW Kraków w Czatkowicach.

Nadmierna ilość zawiesiny wpływa na cały ekosystem wodny. Schueler (1997) wymienia następujące skutki zwiększonego zamulenia wody:

- Abrazja i zniszczenie skrzel ryb, zwiększające ryzyko infekcji i chorób
- Zmycie peryfitonu z podłoża strumienia
- Grzebanie makrobezkręgowców dennych
- Grzebanie ikry ryb i jaj owadów, które zamulone duszą się
- Zmiana struktury gatunkowej w kierunku utraty gatunków wrażliwych na rzecz gatunków tolerancyjnych, gdy zmętnienie przekracza 25 NTU
- Zmiany w zbiorowisku ryb w kierunku gatunków lepiej tolerujących zawiesinę
- Zanik słonecznicy, okonia, klenia i suma, gdy miesięczne mętność przekracza 100 NTU
- Zmniejszenie odległości widzialności u pstrągów, i zmniejszona wydajność karmienia
- Redukcja zasięgu penetracji światła, co powoduje zmniejszenie fotosyntezy a później zmniejszenie planktonu i wzrostu roślin wodnych
- ograniczenie efektywności filtrowania zooplanktonu w jeziorach i ujściach rzek
- niekorzystny wpływ na owady wodne, które są podstawą łańcucha pokarmowego
- Nieznaczne zwiększenie temperatury strumienia w lecie
- Zawiesina osadów jest głównym nośnikiem substancji odżywczych i metali
- Zmętnienie zwiększa prawdopodobieństwo wypadków żeglugowych, pływackich i nurkowych
- Wzrost kosztów uzdatniania wody, aby spełnić standardy wody pitnej
- Zwiększone zużycie wody na wodnej i sprzętu dolotowym
- Zmniejsza szanse połowu ryb w wędkarstwie

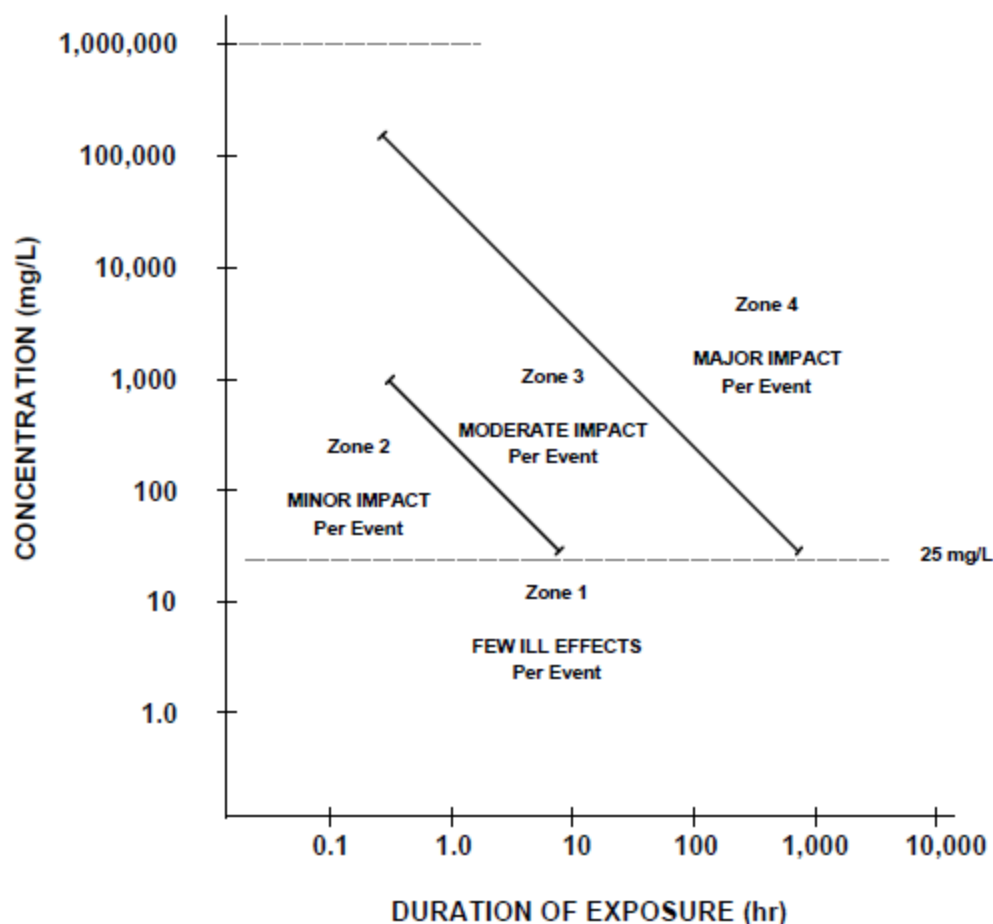
- Zmniejsza pośrednie i bezpośrednie korzyści rekreacyjne z wód,

Na wynik działania zawiesin wpływa wiele czynników:

- Czas trwania narażenia
- Częstotliwość narażenia
- Toksyczność
- Temperatura
- Etap życia ryb
- Kanciastość cząstki
- Wielkość cząstki
- Rodzaj cząstki
- Nasilenie / wielkość impulsu
- Naturalne tło mętności dla danego obszaru (np. pozycja wododziału)
- Czas wystąpienia
- Inne stresory i ogólny stan ekosystemu
- Dostępność i dostęp do refugium

5. Wybrane mechanizmy działania zawiesin na ryby

W zależności od koncentracji i czasu oddziaływania zawiesin na ryby można wyróżnić trzy klasy nasilenia skutków, rys. 1. W koncentracjach poniżej 20-30 mg/l praktycznie nie obserwuje się żadnych negatywnych skutków, niezależnie od długości narażenia na te koncentracje. Większe koncentracje i czasy ekspozycji powodują odpowiednio większe skutki. Koncentracja śmiertelna maleje ze wzrostem wielkości cząstek zawiesin.



Rys. 1. Dolegliwość wpływu osadów na ekosystem wodny jako funkcja intensywności (koncentracja x czas działania) zanieczyszczenia w założeniu raz do roku. Linie ukośne które oddzielają strefy 2. 3 i 4 są przerywane aby nie ekstrapolować trendów jeśli epizod zanieczyszczenia jest skrajnie krótki z wysoką koncentracją osadu, lub gdy jest długotrwały ale ze skrajnie niską koncentracją zawiesiny, Newcombe 1986.

Zawiesina w koncentracji kilku tysięcy mg/l może nie zabić ryby w ciągu kilku godzin ekspozycji, co nie oznacza, że stosunkowo niska koncentracja nie spowoduje śmierci w dłuższym okresie. Nie ma ściśle określonej granicy koncentracji kiedy powstają straty w rybactwie. Są potoki o koncentracji nawet 6000 mg/l gdzie istnieje niewielka populacja pstrąga.

Chwilowo ryby potrafią wytrzymać bardzo wysokie koncentracje zawiesin - pstrąg tęczowy przeżywał jeden dzień w koncentracji 80 000 mg/l zawiesin z popłuczyn żwiru (Herbert za EIFAC 1964). Griffin 1938 podawał, że łosose pacyficzne żyły 3 tygodnie w koncentracji 300-750 mg/l łu, wzrastającej po mieszaniu do 2300 – 6500 mg/l. EIFAC konkluduje, że prawdopodobnie koncentracja rzędu 100 000 mg/l może zabić ryby w ciągu jednego dnia.

Przeprowadzono liczne badania na możliwość przeżycia różnych gatunków ryb w różnych stężeniach zawiesin w różnych ramach czasowych. Badania na karpiowatych wykazały m.in., że może mogą

przeżyć (tydzień lub więcej) w stężeniach 100.000 mg / l, chociaż ekspozycje okolicznościowe w stężeniach aż do 225 000 mg/l również wykazują pewną przeżywalność (Wallen, 1951). Pstrąg tęczowy może przetrwać stężenia zawiesin 80 000 mg/l w ciągu jednego dnia (Alabaster & Lloyd , 1980). Alabaster & Lloyd, 1980 uważają, że koncentracja zawiesin musi przekroczyć 100 000 mg/l, aby spowodować śmierć w tak krótkim czasie. Takie wysokie stężenia są mało prawdopodobne w wodach powierzchniowych w ciągu dłuższego okresu. Śmiertelności ryb była obserwowana w stężeniach od 200 do 4250 mg / l , w niektórych przypadkach, podczas gdy w innych nie odnotowano zgonów w stężeniach pomiędzy 200 a 1000 mg/l, Alabaster & Lloyd 1980.

6. Skutki populacyjne i osobnicze

Bash i in. 2001 podają kilkadziesiąt obserwacji efektów wpływu zawiesin na ryby. Obserwacje pokrywają zakres koncentracji około 100 do 1000 mg/l i czas działania od kilkunastu godzin do ponad tysiąca godzin. Większość obserwacji jako skutek ekspozycji podaje redukcję przeżywalności, stres (różne objawy), choroby (czerwone płetwy), redukcję przyjmowania pokarmu, zredukowane tempo przyrostu.

Jeśli zawartość drobnego osadu w dnie jest mniejsza niż 10 % to sukces wylęgu jest ponad 90%, Ze wzrostem frakcji drobnej sukces wylęgu spada i przy udziale ok. 40% sukces wynosi tylko ok. 20 % tzn. że śmiertelność jest 80 %, U.S. Dept. of the Interior 1970, Ward 1992. Zatem zamulenie osadami o drobnych cząstkach piasków i żwirów prowadzi do spadku sukcesu rozrodczego.

Zwiększenie ilości zawiesin powoduje spadek aktywności żerowania, ponieważ widzialność pokarmu maleje. Wszystkie te i inne obserwacje, a są ich setki podaje literatura np. Alabaster 1972, Darwin et al. 1977, Muncy et al. 1979 lub ostatni przegląd Billota i Brazier 2008. Podana literatura celowo jest podana sprzed około 40 lat aby pokazać, że ten problem jest znany od bardzo dawna.

Wenger i in. 2012, eksperymentalnie stwierdzili, że rybom w mętnej wodzie (do 180 mg/l) więcej czasu zajmuje szukanie pożywienia i mniej jedzą. Gorsze odżywianie przekłada się na wolniejszy wzrost (o 50% w porównaniu do grupy kontrolnej). Ryby z grupy kontrolnej miały dwukrotnie większą powierzchnię wakuoli hepatocytów w wątrobie (do gromadzenia lipidów) niż ryby ekspozowane na średnią i wysoką koncentrację zawiesin. Wskazuje to na niedożywienie ryb przebywających w zawiesinie.

Stres zawiesinowy w przypadku łososiowatych może wpływać na przeobrażenie parr-smolt co skutkuje uszkodzeniem zachowań migracyjnych i redukuje przeżywalność w czasie pobytu w morzu, Wedemeyer and McLeay 1981.

7. Skutki cytologiczne

Au i in., 2004 wykazali, że zawiesina w zakresie koncentracji 50 do 2000 mg/l nawet jeśli nie powoduje śmierci to uszkadza i rozwarstwia nabłonek (rys. 2), powoduje hyperplazję szkieletu skrzelii, redukcję objętości nabłonka. Spadek poziomu trójjodotyroniny (T3) w osoczu świadczył, że zwierzę było w stresie fizjologicznym spowodowanym ekspozycją w środowisku z zawiesiną.

Miernikiem stresu jest także wzrost poziomu glukozy we krwi. Servizi i Martens (1987) stwierdzili wzrost stężenia glukozy w osoczu w łososia narażonego na drobny osad. Poziom glukozy w osoczu łososia wzrósł o 150% w stężeniu zawiesiny 1500 mg/l i o 39% w wyniku ekspozycji 500 mg/l.

W zwiększonej koncentracji zawiesin ryba próbuje pozbyć się osadu zgromadzonego w płatkach skrzeli przez silniejsze ruchy wieczek skrzelowych a jeśli podrażnienie trwa dłużej wydziela się śluz który ma chronić powierzchnię nabłonka ale jednocześnie utrudnia oddychanie.

Śmierć ryb jest spowodowana uszkodzeniem nabłonka skrzeli i zatykaniem, Herbert i Merkens 1961. Obserwowana była również redukcja tempa wzrostu pstrąga jeśli wzrastała koncentracja zawiesin, Herbert i Richards 1963.

Uszkodzenia nabłonka spowodowane zawiesinami są wrotami zakażeń różnego typu (bakterie, grzyby). Może to powodować mylną interpretację śnięć przypisując je zakażeniom a nie pierwotnej przyczynie która spowodowała te zakażenia, patrz opinia dr M. Klicha z lutego 2011r, strona 330 w podsumowaniu punkt 5 w II tomie Akt.

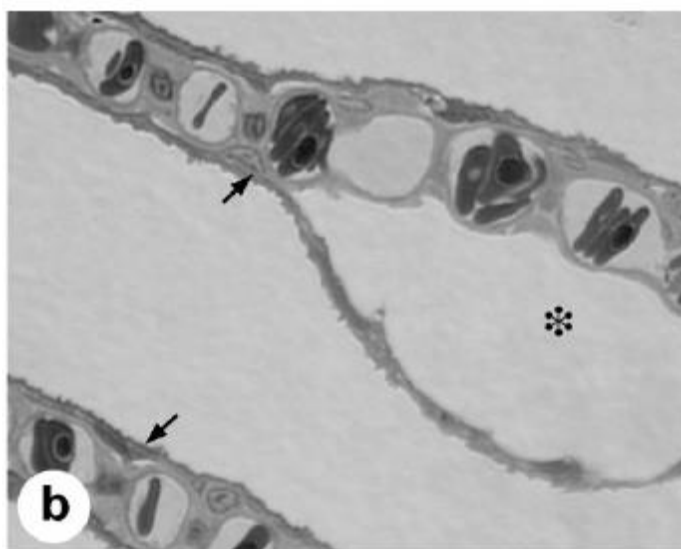


Fig. 1. Rozwarstwianie nabłonka skrzeli po ekspozycji ryby w zawieszinie. Według Au i in. 2004.

8. Stanowiska organizacji rybackich

Raport EIFAC 1964 konkluduje omawianie wpływu zawiesin na ryby:

- a) Nie ma dowodów że koncentracje poniżej 25 mg/l mają negatywny wpływ na rybactwo;
- b) Jest możliwe utrzymanie dobrego rybactwo na wodach o koncentracji 20 do 80 mg/l zawiesin.
- c) Wody zawierające normalnie od 80 do 400 mg/l zawiesin nie bardzo nadają się do rybactwa śródlądowego.
- d) Tylko kiepskie rybactwo jest znane na wodach o zawartości > 400 mg/l

Kolejny przegląd, w których oceniano ryzyko wprowadzania zawiesin do siedlisk ryb było podjęte przez kanadyjski Departament Rybołówstwa i Oceanów (DFO, 2000). Poziomy ryzyka były bardzo podobne do opisanych przez grupę roboczą EIFAC:

- 0 mg/l – brak ryzyka
- Poniżej 25 mg/l – bardzo małe ryzyko
- 25 -100 mg/l – niskie ryzyko
- 100 -200 mg/l – umiarkowane ryzyko
- 200-400 mg/l - wysokie ryzyko
- Więcej niż 400 mg/l – ryzyko nie do zaakceptowania

Stanowisko UE jest znane w postaci cytowanej wyżej Dyrektywy „rybnej” (DIRECTIVE 2006/44/EC + Dziennik Ustaw z 2002 r. Nr 176, poz. 1455).

W okresie budowy pola golfowego stwierdzone koncentracje zawiesin w potoku Racławka wg. WIOŚ osiągały 14 898 mg/l (sprawozdanie z badań wody k.11 w aktach IIK 207/05/K, badanie WIOŚ z 4,11,2002 r, k.1526, pismo WIOŚ z 24,10,2002 k.347 akta II K207/05/K, wyniki badania wody k.399, 775, 1280 w aktach II K207/05/K. wynik próby z dnia 8.08.2002 pobranej przed wlotem wody na stawowy gospodarstwa „Roko”) – Są to wartości wykluczające przydatność wody dla ryb w ogóle a hodowli pstrągów w szczególności.

Konkluzja 1: istnieje udowodniony związek przyczynowo skutkowy między długotrwałym zamuleniem potoku i stawów a śmiercią ryb w stawach. Jako, że zamulenie tych potoków było skutkiem działań inwestora, którego reprezentantem był pan prezes zarządu, istnieje również związek przyczynowo skutkowy między działaniem byłego prezesa zarządu strony pozwanej a szkodą powoda.

9. Środki zapobiegawcze – możliwe ale czy racjonalne.

Każdy ośrodek hodowlany można chronić przed wpływem niepożądanego jakości wody, Jednak nie zawsze jest to racjonalne ponieważ nieokreślone a priori zagrożenia wymagałyby niewspółmiernych nakładów które nigdy mogłyby być nieużyte.

Opłaca się takie środki stosować w szczególnych przypadkach. W ten sposób chronione jest zaopatrzenie mieszkańców Krakowa w wodę. Miasto posiada 4 ujęcia w tym dwa zbiorniki gromadzące rezerwę wody (Dobczyce i Mydlniki) i stałą osłonę laboratoryjną pobieranej wody. W razie zatrucia można szybko zdiagnozować jakość wody i wyłączyć dane ujęcie. Trudno wymagać od tego i innych podobnych gospodarstw tego typu nakładów. Podobne stanowisko jest zawarte w Ramowej Dyrektywie Wodnej, która w podobnym przypadku zwalnia administratora wód z osiągnięcia celu środowiskowego jeśli „zakończenie poprawy w tej skali czasowej byłoby nieproporcjonalnie kosztowne” – Art. 4 ust. 4. lub w ust 7: jeśli „korzystne cele, którym służą te modyfikacje lub zmiany części wód, nie mogą, z przyczyn możliwości technicznych czy nieproporcjonalnych kosztów być osiągnięte innymi środkami, stanowiącymi znacznie korzystniejszą opcję środowiskową”.

Polskie gospodarstwa podają bezpośrednio pobraną wodę rzeki na stawy dlatego, że wielkie nakłady na urządzenia ochrony byłyby nieracjonalne, jeśli prawdopodobieństwo zdarzenia jest bliskie zeru. Właściciel gospodarstwa nie mógł przewidzieć, że akurat tam gdzie on ma swoje stawy powstanie pole golfowe i akurat nastąpi splot okoliczności powodujący katastrofę ekologiczną. Setki innych gospodarstw działają w podobny sposób a szczególne zabezpieczenia wykonuje się jedynie na niektórych obiektach typu wylęgarnie np. w Świnnej Porębie i to na koszt podatnika. Wymaga to

inwestycji w mikrosita (koszt, 15 000 \$), złoża denitryfikacyjne, leje sedymentacyjne, odstojniki i automatyczną kontrolę parametrów jakości wody, konstruowanie obiegów zamkniętych itp.

Możliwe jest zasilanie niektórych obiektów o małym zapotrzebowaniu na wodę (wylęgarnia) z ujęć własnych czyli wodą studzienną. Nie jest możliwe z powodu małej wydajności studni, zasilania nią stawów. Ponadto, ponieważ woda podziemna jest zwykle odtleniona wymagałoby to wcześniejszego jej natlenienia.

W sytuacji Powoda, chwilowym środkiem ratunkowym mogło być odcięcie dopływu wody na stawy na kilka- kilkanaście godzin, bo dłużej ryby łososiowate nie wytrzymają w gęstej obsadzie. Możliwe jest zastosowanie aeratorów bezpośrednio na stawach lub receway'sach lecz ich wydajność natleniania jest niewielka a poza tym trzeba je mieć w danej chwili. Skuteczne natlenianie wymagałoby dużych zmian konstrukcyjnych w gospodarstwie. Mając świadomość co do jakości pobieranej wody jest sprawą decyzji właściciela czy inwestować w stosowne urządzenia. Z drugiej strony stan jakości wody w polskich rzekach powinien do roku 2015 osiągnąć „dobry stan” zgodnie z wymaganiami Ramowej Dyrektywy Wodnej a to oznacza, że przy dobrym stanie wód żadne urządzenia zabezpieczające nie są potrzebne bo jakość wody jest dobra. Odpowiedzialni za osiągnięcie tego stanu wód są administratorzy tych wód.

Konkluzja 2. Powód nie miał możliwości skutecznego zapobieżenia dopływowi zamulonej wody.

Efekt erozji powierzchniowej z powierzchni pozbawionej darni był łatwy do przewidzenia podobnie jak kierunki spływu zawiesin. Powinno to skutkować zastosowaniem środków mitygujących - planowaniem na podstawie prognoz meteo, wykonywaniem prac niwelacyjnych etapami na mniejszych powierzchniach itd. W chwili wystąpienia erozji podglebia inwestor nie miał już żadnej możliwości zapobieżenia przedostaniu się zawiesin i materiału wleczonego do potoków. Żadne filtry typu słoma nie zatrzymają tak drobnych cząstek.

Konkluzja 3. Inwestor mógł oszacować czas trwania prac i ryzyko erozji w razie wystąpienia opadów i stosownie do tego zmniejszyć to ryzyko i zminimalizować potencjalne skutki.

Nieodłączną częścią ekspertyzy jest wycena strat hodowcy. Autor wycenił straty za 2 lata na kwotę **1 152 961 zł.**

Wycena strat gospodarstwa

Cel uzupełnienia opinii

Opinia ma „dotyczyć odszkodowania związanego z zanieczyszczeniem wód rzeki, co miało spowodować wyginiecie ryb w stawach hodowlanych”.

Wykorzystane źródła

- Księgi stawowe wersja elektroniczna i papierowa;
- Parametry pasz z kart informacyjnych umieszczonych na stronach internetowych producentów;

- Cenniki – ze stron internetowych producentów lub informacji telefonicznej jeśli cenniki nie były publikowane.

Księgi stawowe są jedynym istotnym źródłem informacji o funkcjonowaniu gospodarstwa. Stany rybostanu, wielkości produkcji, zużycie paszy i strat przyjęto zgodnie z zapisami ksiąg stawowych. Uznano je za wiarygodne i podobne do wyników innych gospodarstw analizowanych w literaturze. Zgodzono się z wliczaniem kosztów pośrednich funkcjonowania gospodarstwa w wysokości 8 % w koszty strat.

- Aktualną cenę ryby handlowej dla Małopolski przyjęto 18,00 zł/kg.
- Cenę/wartość materiału obsadowego skalkulowano kalkulatorem cen *Grecki Pricelist* (dostępny na stronie <http://www.ikra-dabie.pl/oferta>). Kalkulator "GRECKI" to prosty w użyciu elektroniczny cennik materiału zarybieniowego pstrąga tęczowego. Aby za jego pomocą wyliczyć cenę narybku pstrąga należy wpisać w okienka aktualną lub uzgodnioną cenę ryby handlowej (H) i jej wielkość w gramach. Cena 1 kg i 1 szt. pojawi się poniżej. Po naciśnięciu ikony „wykres” pojawi krzywa przebiegu ceny względem wielkości, a po naciśnięciu „tabela” pojawia się cennik w wersji tabela.
- Aktualna cena paszy Aller Silver loco gospodarstwo przy dużym zakupie wynosi 5890 zł/tonę
- Współczynnik CFR dla paszy tuczowej Aller Silver wynosi 1.0
- Wyliczenia wartości szkody dokonano na dzień 10 grudnia 2013 r.

Współczynnik FCR (Feed Conversion Ratio) informuje o przyroście biomasy ryby po skonsumowaniu 1 kilograma paszy. Dobre pasze mają współczynnik bliski 1, co oznacza, że po zjedzeniu 1 kg takiej paszy ryba przyrasta o 1 kilogram mokrej masy.

Rozpoznanie cen i jakości pasz przedstawiono w tabeli 1. Stosowana w gospodarstwie ROKO pasza jest równoważna paszy Aller Safir, obecnie nie produkowanej a jej równoważnym zamiennikiem jest pasza Aller Silver. Dane dla tej paszy przyjęto w obliczeniach również jako najtańszej paszy tuczowej.

Tabela 1. Rozpoznano następujących producentów pasz.

Producent	Przedstawiciel producenta	Nazwa paszy	Cena brutto loco gospodarstwo PLN/t	FCR Wsp. pokarmowy
ALLER AQUA Polska Sp. z. O.O.	p. Celina Wojczak tel.: 59 82 12 313	Aller Bronze Silver	5890	1

77-116 Czarna Dąbrówka				
BioMar Sp. z O.O. Zielona Góra, Plac Matejki 19/22,	p. Maciej Szczepankowski +48 668 112 112	Efico Alpha 717	6026	1
Coppens International bv	+48 660-129-286 p. Marcin Pacholski	Troco Supreme 22	6130	1

Przykład kalkulatora do obliczania wartości narybku, dawniej tabel Greckiego:

Kalkulacja szkody z powodu śnięć w stawach p. R. Kobylarczyka w roku 2002

wg. cen z 10 grudnia 2013 r.

Inne ceny do modelowania

Parametry wejściowe	Parametry modelu	Aller Aqua	Coppens	BioMar
Nazwa paszy	Aller Silver	Aller Safir=Aller Silver	Troco Supreme 22	EFICO Alpha 717
Współczynnik pokarmowy	1	1	1	
cena za 1 tonę	5890	5890	6130	6030
Cena ryby handlowej zł/kg	18,00			
Cena narybku obsady zł/kg	23,40			
wartość roboczogodziny	14,35			
czas odmulania ¹ [godziny]	1152			

Nr	Opis	jednostka	Prognoza stanu normalnego	stan faktyczny ks. stawowa
1	2	3	4	5
1	Obsada początkowa ¹	kg	13 020	13020
2	średnia masa osobnika ¹	kg	0,12	0,12
3	Wartość jednostkowa masy ryby ²	zł/kg	23,40	23,40
4	Wartość obsady	zł	304 668	304668
5	Masa wyhodowanych ryb (1+przyrost)	kg	41 230	14910
6	Wartość jednostkowa wyhodowanych ryb	zł/kg	18,00	18,00
7	Wartość wyhodowanej ryby towarowej	zł/kg	742 140	268380
Koszty				
8	Zużyta pasza	kg	28 210	15 006
9	Wartość zużytej paszy	zł	166 157	88 385
10	Wynik gospodarczy 7-4-9	zł	271 315	-124 673
11	Wartość strat z tytułu śnięć (10_4-10_5)	zł		395 988
12	Koszty odmulania 1152 rbg G 14.35zł/g	zł		16 531
13	Koszty ogólnogospodarcze 8% od poz. 11	zł		31 679
14	Wartość szkód (11+12+13)	zł		444 199

Źródła danych

1- księgi stawowe 2002 i 2003

2- tabele Greckiego

Kalkulacja szkody z powodu śnięć w stawach p. R. Kobylarczyka w roku 2003 wg. cen z 10 grudnia 2013 r.

Inne ceny do modelowania

Parametry wejściowe	Parametry modelu	Aller Aqua	Coppens	BioMar
Nazwa paszy	Aller Silver	Aller Safir= Aller Silver	Troco Supreme 22	EFICO Alpha 717
Współczynnik pokarmowy	1	1	1	
cena za 1 tonę	5890	5890	6130	6030
Cena ryby handlowej zł/kg	18,00	ZUS suma składek 43,52%		
Cena narybku obsady zł/kg	30,60			
wartość roboczogodziny	14,35			
czas odmulania ¹ [godziny]	1401			

Nr	Opis	jednostka	Prognoza stanu normalnego	stan faktyczny ks.stawowa
1	2	3	4	5
1	Obsada początkowa ¹	kg	9968	9968
2	średnia masa osobnika ¹	kg	0,066	0,066
3	Wartość jednostkowa masy ryby obsadowej ²	zł/kg	30,6	30,60
4	Wartość obsady	zł	305 021	305 021
5	Masa wyhodowanych ryb (1+przyrost)	kg	57 392	12 895
6	Wartość jednostkowa wyhodowanych ryb	zł/kg	18,00	18,00
7	Wartość wyhodowanej ryby towarowej	zł/kg	1 033 056	232 110
Koszty				
8	Zużyta pasza	kg	47 424	19 699
9	Wartość zużytej paszy	zł	279 327	116 027
10	Wynik gospodarczy 7–4–9	zł	448 708	–188 938

11	Wartość strat z tytułu śnięć (10_4–10_5)	zł	637 646
12	Koszty odmulania 1401 rbg G 14.35 zł/g	zł	20 104
13	Koszty ogólnogospodarcze 8% od poz. 11	zł	51 012
14	Wartość szkód (11+12+13)	zł	708 762

Źródła danych

1- księgi stawowe 2002 i 2003

2- tabele Greckiego

Łączna suma strat za lata 2002 i 2003.

Rok 2002 444 199 zł

Rok 2003 708 762 zł

Razem 1 152 961 zł

Na tym opinię uzupełniającą zakończono i podpisano.

/prof. ndzw dr hab/ Roman Żurek

Literatura do studium przypadku

- Guziur. J, Wiśniewski G., Skorupa K. 2009. Produkcja 1-2 t/ha narybku karpia w przysadkach II—część II wyniki produkcyjne i podsumowanie. Rybactwo Śródlądowe, 2, 1-3.
- Guziur J. Białowas H. Milczarzewicz W., 2003 - Rybactwo Stawowe. Oficyna Wydawnicza „HOŻA” Warszawa :195-230
- Juchniewicz J. 1992 - Pasze duńskie. Teoria i praktyka. Kom. Ryb.1:15-19
- Krüger A. 1982 — Technologia intensywnej produkcji narybku jesiennego karpia w przesadkach II. Oprac. Broszura IRS Olsztyn nr. 136.
- Stanny L. 2000 — Metody żywienia karpia w stawach przy zastosowaniu pasz przemysłowych. Przegląd Rybacki, 5:48-61,
- Szczerbowski J.A. (red.)1993. Rybactwo Śródlądowe. IRŚ, Olsztyn, pp 545

Literatura

- Chessman, B. C., Fryirs, K. A., & Brierley, G. J.(2006). Linking geomorphic character, behaviour and condition to fluvial biodiversity: implications for river management. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 16, 267-288.

- Death, R. G., Baillie, B., & Fransen, P. (2003). Effect of *Pinus radiata* logging on stream invertebrate communities in Hawke's Bay, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 37, 507-520
- Doeg, T. J., & Koehn, J. D. (1994). Effects of draining and desilting a small weir on downstream fish and macroinvertebrates. *Regulated Rivers: Research and Management*, 9, 263-278.
- Harrison E.T, Norrisand R. H.. Wilkinson S. N. 2007. The impact of fine sediment accumulation on benthic macroinvertebrates: implications for river management. In: Wilson, A.L., Dehaan, R.L., Watts, R.J., Page, K.J., Bowmer, K.H., & Curtis, A. (2007). *Proceedings of the 5th Australian Stream Management Conference. Australian rivers: making a difference.* Charles Sturt University, Thurgoona, New South Wales. 139-144
- Hogg, I. D., & Norris, R. H. (1991). Effects of Runoff and Land Clearing and Urban Development on the Distribution and Abundance of Macroinvertebrates in Pool Areas of a River. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 42, 507-518.
- Kaller, M. D., & Hartman, K. J. (2004). Evidence of a threshold level of fine sediment accumulation for altering benthic macroinvertebrate communities. *Hydrobiologia*, 518, 95-104
- Hynes, H. B. N. (1970). *The ecology of running waters.* Liverpool: Liverpool University Press.
- Matthaei, C. D., Weller, F., Kelly, D. W., & Townsend, C. R. (2006). Impacts of fine sediment addition to tussock, pasture, dairy and deer farming streams in New Zealand *Freshwater Biology*, 51, 2, 154-2172
- Wood, P. J., & Armitage, P. D. (1997). Biological effects of fine sediment in the lotic environment. *Environmental Management*, 21, 203-217.
- Waters, T. F. (1995). *Sediment in Streams Sources, Biological Effects and Control.* Maryland, USA: American Fisheries Society.