

MODELOWANIE EKONOMETRYCZNE WPŁYWU ZMIAN JAKOŚCI WÓD JEZIORNICH NA GOSPODARKĘ RYBACKĄ

Marek Ramczyk¹

¹ Katedra Ekoinżynierii i Fizykochemii Środowiska, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Al. prof. Sylwestra Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, e-mail: marek.ramczyk@utp.edu.pl

STRESZCZENIE

Instrumentem wykorzystywanym w analizie wpływu degradacji środowiska przyrodniczego na efekty gospodarowania może być model ekonometryczny. Celem niniejszej pracy jest analiza wpływu zmian jakości wód Jeziora Charzykowskiego na odłow rybaków. W pracy przedstawiono rezultaty badań wpływu zanieczyszczeń wód jeziornych na efekty gospodarki rybackiej. Skonstruowano uogólnione modele ekonomiczno-ekologiczne wyjaśniające zmiany efektów ekonomicznych rybołówstwa jeziornego w warunkach postępującego zanieczyszczenia wody w epilimnionie na przykładzie odłowów płoci, leszcza, krąpia, sielawy, siei, węgorza i szczupaka w Jeziorze Charzykowskim. W przeprowadzonych badaniach empirycznych rozpatrywano wpływ czynników środowiskowych na wielkość odłowów ryb. Obliczenia i analizy wyraźnie wskazują, że czynniki siedliskowe istotnie – ale z różną intensywnością i w odmiennych zestawach – oddziałują na rozmiary odłowów każdego z rozpatrywanych gatunków ryb. Zmiany jakości wód jeziornych i czynników klimatycznych powodują wymierne skutki w gospodarce rybackiej Jeziora Charzykowskiego. Spośród płoci, leszcza i krąpia największe wymagania dotyczące jakości wody ma krąpiec. Natomiast leszcz ma nieco wyższe wymagania środowiskowe niż płoć. Równania empiryczne ujawniły też, że sielawa i sieja mają znacznie wyższe wymagania w stosunku do czystości wody niż płoć, leszcz i krąpiec. O ile w przypadku płoci, leszcza i krąpia większość charakterystyk wody raczej jeszcze stymulowała rozwój tych gatunków, o tyle w odniesieniu do sielawy i siei w zasadzie hamowały one ich przyrosty. Model potwierdził również dość duże wymagania siedliskowe węgorza i zgodność tezy o unikaniu przez szczupaka wód zanieczyszczonych. Na zmienne endogeniczne znaczący jest wpływ czynników klimatycznych. Przesądza to o sezonowości odłowów płoci, leszcza, krąpia, sielawy, siei, węgorza i szczupaka w Jeziorze Charzykowskim. Wyniki modelowania mogą być wykorzystane w zarządzaniu gospodarką rybacką tego jeziora.

Słowa kluczowe: modelowanie ekonometryczne, gospodarka rybacka, jakość wód jeziornych.

ECONOMETRIC MODELLING OF THE INFLUENCE OF LAKE WATER QUALITY CHANGES ON FISHING ECONOMY

ABSTRACT

The econometric model can be a precise instrument for the analysis of the impact of the natural environment's degradation on fishing economy. This paper aims at analysing the influence of the water quality changes in lake Charzykowskie on the fishing economy. This dissertation presents the results of a research on the lake water pollution's impact on fishing economy. The economic-ecological models have been constructed, explaining the changes of economic effects of the lake fishery in the conditions of an increasing water pollution in the epilimnion on the example of the catch of *Rutilus rutilus*, *Abramis brama*, *Blicca bjoerkna*, *Coregonus albula*, *Coregonus lavaretus*, *Anguilla anguilla* and *Esox lucius* in Lake Charzykowskie. Performed empirical research looked into the influence of the environmental factors on the size of fish catch. Calculations and analysis show clearly that though the habitat factors do influence the catch size of each studied fish species, they do it with different intensity and in various combinations. Both lake water quality and climate factors changes cause measurable effects on fishing industry of lake Charzykowskie. Among all the examined *Rutilus rutilus*, *Abramis brama* and *Blicca bjoerkna* the highest environmental requirements concerning water quality has *Blicca bjoerkna*. Whereas *Abramis brama* has slightly higher environmental requirements than *Rutilus rutilus*. Empirical calculations showed as well that *Coregonus albula* and *Coregonus lavaretus* have considerably higher water clean-

ness requirements than *Rutilus rutilus*, *Abramis brama* and *Blicca bjoerkna*. While when talking about *Rutilus rutilus*, *Abramis brama* and *Blicca bjoerkna*, most water characteristics still rather stimulated these species' development, when it comes to *Coregonus albula* and *Coregonus lavaretus*, in general they suppressed their development. The model has also proved quite high habitat requirements of *Anquilla anquilla* and correctness of the thesis that *Esox lucius* avoids polluted waters. For endogenous variables climatic factors' influence is significant. This prejudices the itinerancy of *Rutilus rutilus*, *Abramis brama*, *Blicca bjoerkna*, *Coregonus albula*, *Coregonus lavaretus*, *Anquilla anquilla* and *Esox lucius* catch in lake Charzykowskie. The results of the modelling can be used in managing the fishing economy this lake.

Keywords: econometric modelling, fishing economy, lake water quality.

WSTĘP

Zanieczyszczenie środowiska stanowi zagrożenie nie tylko biologicznego bytu człowieka, ale również dla ekonomiki kraju. Stąd istotna jest m. in. analiza wpływu pogarszania się jakości wód jeziornych na efekty ekonomiczne gospodarki rybackiej. Z powodu znacznych trudności zgromadzenia kompletnych informacji statystycznych o ekonomicznych efektach płynących z wykorzystania określonego akwenu ograniczono analizę do rezultatów w gospodarce rybackiej.

Proces degradacji wód powierzchniowych wywołuje negatywne następstwa w rozmiarach odłowów ryb. W skrajnym przypadku konsekwencją zanieczyszczenia jeziora jest biologiczna jego śmierć, a tym samym całkowity zanik gospodarki rybackiej. Powrót do efektywnego gospodarowania jest wówczas możliwy przez długotrwałą i kosztowną rekultywację zbiornika wodnego.

Obserwacje i analiza zależności między efektami gospodarki rybackiej a zmianami jakości wody w jeziorze możliwe są więc tylko tam, gdzie stopień jej zanieczyszczenia jest relatywnie nieznaczny, wskutek czego prowadzi się odłowy ryb. Niezbędny jest też zorganizowany system rejestrowania zarówno zmian jakości wód, jak również rozmiarów odłowów ryb. Warunki te spełnione są w stosunku do Jeziora Charzykowskiego w województwie pomorskim. Dlatego też w niniejszym artykule przedstawione zostaną rezultaty analizy obejmujące to właśnie jezioro.

W literaturze pojawiły się modele ekonometryczne opisujące oddziaływania zanieczyszczeń środowiska przyrodniczego na elementy ekonomiki państwa [Agnew 1979, Dyer i Gillooly 1979, Jorgensen 1980]. Celem niniejszej pracy jest analiza wpływu zmian jakości wód Jeziora Charzykowskiego na odłowy ryb. W pracy przedstawiono rezultaty realizowanych badań w zakresie wpływu zanieczyszczeń wód jeziornych na efekty gospodarki rybackiej. Skonstruowane modele ekonomiczno-ekologiczne wyjaśniają zmiany efektów ekonomicznych rybołówstwa jezior-

nego w warunkach rosnącego zanieczyszczenia wody epilimnionu. Wyniki modelowania mogą być wykorzystane w zarządzaniu gospodarką rybacką Jeziora Charzykowskiego.

METODA

W Polsce długo próby szacowania strat odśrodkowych oparte były na uogólnieniach fragmentarycznych badań empirycznych. Do 1989 roku dla uchwycenia tego typu szkód nie stosowano metod modelowania deterministycznego ani stochastycznego. Artykuł Ramczyka [1989] dał początek zainteresowaniu ekonometryków modelowaniem szkód z tytułu degradacji wód jeziornych. W następstwie tej pracy ukazał się m. in. artykuł Ramczyka i Wiśniewskiego [1989], prace Ramczyka [2006, 2007, 2008, 2010, 2012] oraz praca Ramczyka i Giryna [2010].

Przedmiotem zainteresowania w niniejszej pracy jest analiza wpływu pogarszania się jakości wód jeziornych na efekty ekonomiczne gospodarki rybackiej. Model ekonometryczny może być precyzyjnym instrumentem analizy wpływu degradacji środowiska naturalnego na efekty gospodarowania. Rozważmy następujący model składający się z G równań stochastycznych:

$$y_{it} = \sum_{j=0}^k \alpha_{ij} x_{tj} + \eta_{ti} \quad (1)$$

($i = 1, 2, \dots, G$ oraz $t = 1, 2, \dots, n$)

gdzie: y_{it} – i -ty efekt działalności gospodarczej w okresie t ,

x_{tj} ($j=1, 2, \dots, k$) – mierniki charakterystyk środowiska naturalnego spośród k rozważanych w okresie t ,

α_{ij} – parametry modelu będące miarami jednostkowego oddziaływania każdej z cech środowiskowych na rozważany i -ty rezultat gospodarowania,

η_{ti} – składnik losowy i -tego równania,

t – okres obserwacji (kwartał).

Stawiamy tezę, że w przypadku, gdy w modelu (1) y_{it} jest wielkością i-tego rodzaju odłowów, zaś x_{ij} – poziomem zawartości j-tej substancji w wodzie ($j=1,2,\dots, k$), parametr strukturalny α_{ij} może informować o trzech możliwych sytuacjach:

- a) jeżeli $\alpha_{ij} = 0$, to obserwowane w jeziorze poziomy stężenia j-tej substancji są obojętne dla wielkości i-tego rodzaju odłowów, czyli nie występuje znaczący dla rozpatrywanego i-tego efektu stopień zanieczyszczenia jeziora;
- b) gdy $\alpha_{ij} > 0$, to występujące w wodzie jeziornej stany zawartości danej j-tej substancji są poniżej strefy obojętności, przez co były jeszcze stymulatorami rozwoju danej populacji ryb, czyli wpływały pozytywnie na ich odłowy;
- c) gdy $\alpha_{ij} < 0$, mamy do czynienia z zanieczyszczeniem wody jeziora ponad stan obojętności. Wśród zaobserwowanych wielkości zawartości j-tej substancji w wodzie dominują wówczas obserwacje o przekroczonym poziomie ze strefy obojętności. Przyrost masy tego składnika jest więc zanieczyszczeniem jeziora szkodliwym dla jego rybostanu, a tym samym wpływającym negatywnie na rozpatrywany i-ty efekt ekonomiczny.

Skonstruowano zatem empiryczny liniowy model ekonometryczny opisujący reakcje wielkości i-tego rodzaju odłowów ryb na wpływ zmian jakości wód epilimnionu Jeziora Charzykowskiego. Model ten ma dać statystyczną ocenę oddziaływania różnych sekwencji czynników środowiskowych (19 zmiennych egzogenicznych) na rozmiary odłowów: płoci, leszcza, krąpia, sielawy, siei, węgorza i szczupaka (7 zmiennych endogenicznych). Klasyczną metodą najmniejszych kwadratów estymowano parametry równań dla każdej ze zmiennych endogenicznych w zależności od różnych czynników środowiskowych. Szacunki poszczególnych równań przeprowadzono na podstawie 26 obserwacji kwartalnych, przy czym przyjęcie 3-miesięcznych sekwencji danych o zmiennych wynika z założenia adekwatnego odzwierciedlenia ich natężenia w typowych sezonach limnologicznych jeziora. Podczas konstrukcji modelu rozpatrywano wiele wersji zależności między zmiennymi ekonomicznymi i zmiennymi środowiskowymi. Zasada specyfikacji równań modelu była następująca: w każdej iteracji obliczeń z maksymalnego zbioru zmiennych egzogenicznych eliminowano po jednej, przy czym rugowano zmienną o najniższej empirycznej wartości statystyki t-Studenta. W ten krokowy

sposób dochodzono do zestawu, którego wszystkie zmienne można uznać za statystycznie istotne na rozsądnym poziomie istotności. W poszczególnych równaniach uwzględniono więc ostatecznie te przyczynowe zmienne egzogeniczne, które na stosownym poziomie istotności można uznać za statystycznie istotnie kształtujące daną zmienną endogeniczną.

WYNIKI I DYSKUSJA

Poniżej przedstawiono wyniki estymacji parametrów strukturalnych równań liniowego modelu ekonometrycznego opisującego oddziaływanie wielu różnych cech wody jeziornej w epilimnionie na wielkość odłowów ryb w Jeziorze Charzykowskim przy różnym ujęciu zbioru zmiennych środowiskowych. W poszczególnych równaniach empirycznych pod ocenami parametrów strukturalnych w nawiasach podane są obliczone wartości statystyk t-Studenta. Ponadto prezentowane są też następujące miary charakteryzujące wahania losowe odłowów ryb: R^2 – kwadrat współczynnika korelacji wielorakiej, $\hat{\alpha}_\eta$ – ocena odchylenia standardowego składnika losowego, DW – statystyka Durбина i Watsona, $\hat{\rho}_1$ – współczynnik autokorelacji reszt pierwszego rzędu.

W pracach Ramczyka [2006, 2007, 2008, 2010] zaprezentowano zestawy równań dotyczących odłowów płoci, węgorza, leszcza, szczupaka, krąpia, sielawy i siei z uwzględnieniem warunków siedliskowych w różnych warstwach jeziora, natomiast w pracy Ramczyka [2012] przedstawiono uogólnione równania empiryczne tych odłowów w zależności od jakości wody całego Jeziora Charzykowskiego. W niniejszej pracy zawarto zaś uogólnione równania empiryczne przedmiotowych odłowów w zależności od jakości wody w epilimnionie (warstwie powierzchniowej) Jeziora Charzykowskiego.

Równanie odłowów płoci (*Rutilus rutilus*) w zależności od poziomu zmiennych środowiskowych w warstwie powierzchniowej Jeziora Charzykowskiego ma następującą postać (w każdym równaniu modelu uwzględniono składnik losowy (np. $\eta_{it}^{(ODPŁ)}$), a przy zmiennej występują indeksy, których znaczenie jest następujące: ODPŁ – odłowy płoci, ODL – odłowy leszcza, ODK – odłowy krąpia, ODSL – połowy sielawy, ODSJ – połowy siei, ODW – odłowy węgorza, ODSZ – odłowy szczupaka i p – warstwa powierzchniowa jeziora, czyli epilimnion):

$$ODP\dot{L}_t = -7,921 + 0,070 PZOS_t^{(p)} + 1,787 TP_{t-1} + \eta_{tp}^{(ODP\dot{L})} \quad (2)$$

(2,181) (2,788)

(2,364)

gdzie: $ODP\dot{L}_t$ – wielkość odłowów płoci (w kilogramach),

$PZOS_t^{(p)}$ – zawartość substancji organicznej w suchej masie sestonu w epilimnionie (w procentach),

TP_{t-1} – średnia temperatura powietrza z opóźnieniem kwartalnym (w stopniach Celsjusza)

oraz: $R^2 = 0,3148$; $\hat{\alpha}_\eta = 2,0755$; $DW = 1,865$; $\hat{\rho}_1 = 0,0536$.

Interpretacja powyższych rezultatów modelowania ekonometrycznego jest dość oczywista. Przyrost zawartości substancji organicznej w suchej masie sestonu warstwy powierzchniowej o 1% powodował bowiem wzrost odłowów płoci średnio o 0,07 kg. Natomiast z przyrostem temperatury wody powierzchniowej jeziora o 1°C następował wzrost wielkości odłowów płoci średnio o 1,787 kg. Skoncentrujmy jeszcze uwagę na najbardziej symptomatycznych kwestiach, jakie wynikają z równania (2). Zgodnie ze sformułowaną wcześniej tezą zawartość substancji organicznej w suchej masie sestonu w warstwie powierzchniowej jeziora $PZOS_t^{(p)}$ wydaje się być czynnikiem wielkości odłowów płoci bliskim neutralności. Statystyka *t*-Studenta wskazuje jednak, że oddziaływanie tej zmiennej można uznać za statystycznie istotne. Zmienna $PZOS_t^{(p)}$ w obserwowanym zakresie zmienności była więc jeszcze stymulatorem rozwoju populacji omawianej ryby karpowatej. Warto też zwrócić uwagę na statystyczną istotność temperatury powietrza opóźnionej o 1 okres. Warunki termiczne w rejonie Jeziora Charzykowskiego brane z kwartalnym opóźnieniem generują zatem sezonowość odłowów płoci. Można wyrazić pogląd, że w równaniu (2) znajduje się potwierdzenie założenia o niewysokich wymaganiach płoci w stosunku do jakości wody. Obserwowane bowiem w warstwie powierzchniowej rozpatrywanego jeziora wielkości różnych charakterystyk wody są – z wyjątkiem $PZOS_t^{(p)}$ – obojętne dla masy odłowów płoci ($\alpha_{ij} = 0$). Istotne w równaniu (2) zmienne $PZOS_t^{(p)}$ i TP_{t-1} w około 31% wyjaśniają rozmiary odłowów płoci. Oznacza to, że taki jest udział zmiennych środowiskowych w kształtowaniu zmiennej $ODP\dot{L}_t$. Pozostałą część stano-

wią inne grupy czynników warunkujących efekty w gospodarce rybackiej. W równaniu $ODP\dot{L}_t$ nie występuje autokorelacja składników resztowych pierwszego rzędu.

Reguły kształtowania się odłowów leszcza (*Abramis brama*) pod wpływem zmian czynników środowiskowych w warstwie powierzchniowej przedmiotowego jeziora wyjaśnia następujące równanie empiryczne:

$$ODL_t = 19,596 - 0,976 TR_t^{(p)} - 1,094 NOG_t^{(p)} - 0,030 O_{t-1} + \eta_{tp}^{(ODL)} \quad (3)$$

(3,817) (2,779)

(2,274) (2,710)

gdzie: ODL_t – wielkość odłowów leszcza (w kilogramach),

$TR_t^{(p)}$ – zawartość tlenu rozpuszczonego w epilimnionie (w mg/dm³),

$NOG_t^{(p)}$ – stężenie azotu ogólnego w epilimnionie (w mg/dm³),

O_{t-1} – kwartalna suma opadów atmosferycznych opóźniona o 1 okres (w milimetrach)

oraz: $R^2 = 0,3725$; $\hat{\alpha}_\eta = 2,9632$; $DW = 2,249$; $\hat{\rho}_1 = -0,1643$.

Spośród potencjalnych zmiennych egzogenicznych większość nie wywierała istotnego statystycznie wpływu na odłowy leszcza, wskutek czego wyeliminowano je z równania. W efekcie powstało równanie (3) o trzech zmiennych egzogenicznych mających charakter cech środowiskowych. W przypadku wszystkich z nich $\hat{\alpha}_{ij} < 0$. Wśród istotnych statystycznie zmiennych egzogenicznych w obserwowanym przedziale zmienności dominują więc wartości o przekroczonym poziomie ze strefy neutralności. Przekroczenie zaś granic objętości pociąga za sobą zmniejszenie zasobów leszcza w zbiorniku wodnym, a tym samym następuje obniżenie wielkości odłowów tego gatunku. O wielkości strat w odłowach leszcza z tytułu zanieczyszczenia wód powierzchniowych jeziora informuje chociażby ocena parametru $\hat{\alpha}_{ij}$ przy zmiennej $NOG_t^{(p)}$. Przyrost zawartości azotu ogólnego w epilimnionie o 1mg/dm³ powodował mianowicie spadek odłowów leszcza średnio o 1,094 kg. W równaniu (3) zaskakuje statystyczna istotność zmiennej $TR_t^{(p)}$, wpływającej negatywnie na masę odłowów *Abramis brama*. Z reguły im wyższa zawartość tlenu w wodzie, tym lepsze warunki

dla rozwoju populacji ryb. Równanie ODL_t pokazuje jednak zależność odwrotną. W przypadku leszcza – dobrze czującego się w wodzie gorszej jakości i żerującego przy dnie akwenu – silnie natlenione wody warstwy powierzchniowej jeziora mogły w okresie próby destabilizująco wpływać na przyrosty leszcza. Warto dodać, że zmienna ODL_t podlegała też w obserwowanym zakresie zmienności zmiennych egzogenicznych wpływom czynników klimatycznych, wyrażonych opadami atmosferycznymi.

Zmienne środowiskowe w około 37% wyjaśniają rozmiary odłowów leszcza, czyli w zbliżonym stopniu jak w równaniu opisującym połowy płoci. Można zatem przypuszczać, że zmienna ta kształtowała się głównie pod wpływem czynników pozaśrodowiskowych.

Oszacowane i zweryfikowane równanie odłowów krapia (*Blicca bjoerkna*) w kontekście zmian środowiskowych w epilimnionie jest następujące:

$$\begin{aligned}
 ODK_t = & -13,191 + 0,069 MG_t^{(p)} + 0,055 PZOS_t^{(p)} + \\
 & -0,461 TWOG_t^{(p)} + 0,877 OW_t^{(p)} + 0,077 CA_t^{(p)} + \\
 & -0,463 CL_t^{(p)} - 0,761 NMIN_t^{(p)} - 0,711 NOG_t^{(p)} + \\
 & + 0,006 U_{t-1} + 2,177 PW_{t-1} - 0,103 TP_{t-1} + \\
 & + 0,175 WW_t + \eta_{lp}^{(ODK)}
 \end{aligned} \quad (4)$$

gdzie: ODK_t – wielkość odłowów krapia (w kilogramach),

$MG_t^{(p)}$ – zawartość magnezu w epilimnionie (w mg/dm³),

$PZOS_t^{(p)}$ – zawartość substancji organicznej w suchej masie sestonu w epilimnionie (w procentach),

$TWOG_t^{(p)}$ – twardość ogólna wód epilimnionu (w stopniach niemieckich),

$OW_t^{(p)}$ – odczyn wody epilimnionu,

$CA_t^{(p)}$ – zawartość wapnia w epilimnionie (w mg/dm³),

$CL_t^{(p)}$ – zawartość chlorków w epilimnionie (w mg/dm³),

$NMIN_t^{(p)}$ – stężenie azotu mineralnego w epilimnionie (w mg/dm³),

$NOG_t^{(p)}$ – stężenie azotu ogólnego w epilimnionie (w mg/dm³),

U_{t-1} – suma usłonecznienia z kwartalnym opóźnieniem (w godzinach),

PW_{t-1} – średnia prędkość wiatru z opóźnieniem kwartalnym (w m/s),

TP_{t-1} – średnia temperatura powietrza z opóźnieniem kwartalnym (w stopniach Celsjusza),

WW_t – wymiana wody (w procentach)

oraz: $R^2 = 0,9024$; $\hat{\alpha}_\eta = 0,5817$; $DW = 2,389$; $\hat{\rho}_1 = -0,3107$.

Równanie (4) pozwala na odróżnienie charakterystyk wody powierzchniowej: obojętnych dla wielkości odłowów krapia, stymulujących jego rozwój oraz wpływających negatywnie na rozpatrywany efekt ekonomiczny. Umożliwia to interpretacja ocen parametrów strukturalnych $\hat{\alpha}_{ij}$. Wartości empiryczne statystyki t-Studenta wskazują, że zdecydowanie najbardziej negatywne na wielkość odłowów krapia oddziaływały w obserwowanym przedziale zmienności stężenia azotu ogólnego. Dostrzega się również, że zmienne klimatyczne bardzo wyraźnie determinowały poziom odłowów krapia. Prędkość wiatru jednak znacznie intensywniej stymulowała odłow krapia niż usłonecznienie, temperatura powietrza i retencja. Sugerują to statystyki t-Studenta. Prawdopodobnie powyższa jest dość logiczna. Wiadomo bowiem, że wiatr miesza toń wodną epilimnionu powodując jej natlenianie. Zwiększenie zaś zawartości tlenu w wodzie jest właściwością pozytywną, świadczącą o poprawie stanu jej czystości. Tym samym powstają lepsze warunki dla rozwoju populacji ryb i w konsekwencji istnieje możliwość zwiększenia ich odłowów. W omawianym równaniu nie występuje atokorelacja składników resztowych pierwszego rzędu.

Estymacja równania odłowów sielawy (*Coregonus albula*) w zależności od warunków środowiskowych w epilimnionie Jeziora Charzykowskiego dała następujące wyniki:

$$\begin{aligned}
 ODSL_t = & 2,519 - 3,254 FF_t^{(p)} + \\
 & -0,004 U_{t-1} - 0,586 O_{t-1} + \\
 & + 0,150 WW_t + 0,244 TW_t^{(p)} + \eta_{lp}^{(ODSL)}
 \end{aligned} \quad (5)$$

gdzie: $ODSL_t$ – wielkość odłowów sielawy (w kilogramach),

$FF_t^{(p)}$ – zawartość fosforu fosforanowego w epilimnionie (w mg/dm³),

U_{t-1} – suma usłonecznienia z kwartalnym opóźnieniem (w godzinach),

O_{t-1} – kwartalna suma opadów atmosferycznych opóźniona o 1 okres (w milimetrach),

WW_t – wymiana wody (w procentach),

$TW_t^{(p)}$ – temperatura wody epilimnionu (w stopniach Celsjusza)

oraz: $R^2 = 0,8013$; $\hat{\alpha}_\eta = 0,7936$; $DW = 2,366$; $\hat{\rho}_1 = -0,22$.

Pośród potencjalnych zmiennych opisujących jakość wody w epilimnionie zdecydowana większość w obserwowanym przedziale zmienności była obojętna dla wielkości odłowów sielawy. Wskutek tego w równaniu (5) pozostała tylko zmienna $FF_t^{(p)}$, której zaobserwowane wielkości zawartości wyraźnie hamują masę odłowów rozpatrywanej ryby siejowatej. Przekroczenie poziomu ze strefy neutralności stężenia fosforu fosforanowego było bowiem takie, że każdy przyrost o 1 mg/dm³ pociągał za sobą niżkę odłowów sielawy średnio o 3,254 kg kwartalnie.

Statystyki t-Studenta wskazują, że zdecydowanie bardziej wyraźnie, niż oddziaływanie charakterystyk jakości wody na wielkość odłowów sielawy wpływały zmiany klimatyczne. *Coregonus albula* jest rybą zimnolubną, co potwierdziły obliczenia poprzez statystyczną istotność zmiennej $TW_t^{(p)}$, będącą pochodną temperatury powietrza. Interesująca wydaje się interpretacja dodatniej oceny parametru strukturalnego przy tej zmiennej. Prawdopodobnie wahania temperatury wody epilimnionu mieściły się w przedziale temperatur odpowiednio zimnych dla sielawy. Stąd każdy wzrost tej zmiennej w okresie próby był korzystny dla rozmiarów odłowów sielawy. Logiczne są również interpretacje szacunków parametrów α_{ij} przy zmiennych WW_t oraz U_{t-1} . Zwiększenie wymiany wody w jeziorze o 1% powodowało spadek odłowów sielawy średnio o 0,15 kg. Można stąd wnioskować, że wymiana wody zwiększa natlenienie epilimnionu, co wpływa korzystnie na omawiany efekt gospodarki rybackiej i tłumaczy statystyczną nieistotność zmiennej $TR_t^{(p)}$. Z kolei z jednostkowym przyrostem insolacji następował spadek wielkości połowów omawianej ryby głębielowatej średnio o 0,004 kg. Potwierdza się więc teza, że sielawa jest rybą zimnolubną i dla prawidłowego rozwoju wymaga przede wszystkim wód zimnych. Natomiast każdy przyrost nasłonecznienia podnosi temperaturę wody. W kontekście jednak

wcześniej sformułowanej interpretacji istotności zmiennej $TW_t^{(p)}$ i niskiej wartości oceny parametru $\hat{\alpha}_{ij}$ przy zmiennej U_{t-1} można sądzić, że poziomy usłonecznienia nie naruszają drastycznie rozwoju populacji sielawy.

Empiryczne równanie wpływu wskaźników jakości wody epilimnionu i czynników klimatycznych na odłowu siei (*Coregonus lavaretus*) ma postać:

$$\begin{aligned} ODSJ_t = & 2,119 + 0,064 TWOG_t^{(p)} + \\ & - 0,019 MG_t^{(p)} - 0,002 PEL_t^{(p)} + \\ & - 0,001 KRS_t^{(p)} - 0,014 PZOS_t^{(p)} + \\ & + 0,001 U_{t-1} - 0,003 O_{t-1} + 0,056 TP_{t-1} + \\ & - 0,020 WW_t + \eta_{tp}^{(ODSJ)} \end{aligned} \quad (6)$$

gdzie: $ODSJ_t$ – wielkość odłowów siei (w kilogramach),

$TWOG_t^{(p)}$ – twardość ogólna wód epilimnionu (w stopniach niemieckich),

$MG_t^{(p)}$ – zawartość magnezu w epilimnionie (w mg/dm³),

$PEL_t^{(p)}$ – przewodność elektrolityczna właściwa epilimnionu (w mikrosimensach),

$KRS_t^{(p)}$ – przezroczystość wody epilimnionu (mierzona widzialnością krążka Secchiego w centymetrach),

$PZOS_t^{(p)}$ – zawartość substancji organicznej w suchej masie sestonu w epilimnionie (w procentach),

U_{t-1} – suma usłonecznienia z kwartalnym opóźnieniem (w godzinach),

O_{t-1} – kwartalna suma opadów atmosferycznych opóźniona o 1 okres (w milimetrach),

TP_{t-1} – średnia temperatura powietrza z opóźnieniem kwartalnym (w stopniach Celsjusza),

WW_t – wymiana wody (w procentach)

oraz: $R^2 = 0,8168$; $\hat{\alpha}_\eta = 0,1384$; $DW = 2,012$; $\hat{\rho}_1 = -0,0153$.

Występujące w równaniu (6) zmienne: U_{t-1} , O_{t-1} , TP_{t-1} i WW_t wyrażają istotność cech kli-

matu rejonu Jeziora Charzykowskiego w kształtowaniu odłowów siei. Dodatnia ocena parametru strukturalnego $\hat{\alpha}_{ij}$ przy zmiennej TP_{t-1} wynika prawdopodobnie z faktu, że amplituda wahań temperatury powietrza wpływała na zmiany temperatury wody w takim stopniu, że ta zawierała się w granicach temperatur odpowiednich dla siei. Stymulowało to w efekcie rozmiary jej odłowów. W tym kontekście wytłumaczenie kierunku oddziaływania zmiennej U_{t-1} na zmienną $ODSJ_t$ jest identyczne jak w równaniu (5). W przypadku zmiennej reprezentującej retencję jeziora pojawia się $\hat{\alpha}_{ij} < 0$. Oznacza to, że im większa wymiana wody w jeziorze, tym większy ładunek zanieczyszczeń dostaje się do wód epilimnionu, bezpośrednio wymiennie zagrażając efektywności odłowów siei.

Pozostałe zmienne równania (6) są elementami wektora cech jakości wody powierzchniowej jeziora, hamującymi – z wyjątkiem zmiennych $TWOG_t^{(p)}$ i $KRS_t^{(p)}$ – rozwój populacji omawianego gatunku ryb. Ujemna ocena parametru przy zmiennej reprezentującej przezroczystość wody winna być odczytana odmiennie, niż pozostałe $\hat{\alpha}_{ij} < 0$. Zwiększanie się bowiem przezroczystości wody jest właściwością pozytywną, świadczącą o poprawie stanu jej jakości.

Rozpatrywana zmienna endogeniczna jest w prawie 82% wyjaśniona przez uwzględnione w równaniu zmienne środowiskowe. Ich znaczenie umacnia niewystępowanie autokorelacji składnika resztowego pierwszego rzędu.

Empiryczne równanie odłowów węgorza (*Anguilla anguilla*) w zależności od czynników środowiskowych warstwy powierzchniowej J. Charzykowskiego jest następujące:

$$\begin{aligned} ODW_t = & 1,720 - 0,188 KRS_t^{(p)} + \\ & + 0,167 TW_t^{(p)} - 0,151 BZT5_t^{(p)} + \\ & + 0,331 NOG_t^{(p)} - 0,130 TP_{t-1} + \\ & + 0,136 WW_t + \eta_{tp}^{(ODW)} \end{aligned} \quad (7)$$

gdzie: ODW_t – wielkość odłowów węgorza (w kilogramach),

$KRS_t^{(p)}$ – przezroczystość wody epilimnionu (mierzona widzialnością krążka Secchiego w centymetrach),

$TW_t^{(p)}$ – temperatura wody epilimnionu (w stopniach Celsjusza),

$BZT5_t^{(p)}$ – biochemiczne zapotrzebowanie tlenu w epilimnionie (w mg/dm³),

$NOG_t^{(p)}$ – stężenie azotu ogólnego w epilimnionie (w mg/dm³),

TP_{t-1} – średnia temperatura powietrza z opóźnieniem kwartalnym (w stopniach Celsjusza),

WW_t – wymiana wody (w procentach)

oraz: $R^2 = 0,7566$; $\hat{\alpha}_\eta = 0,6133$; $DW = 2,547$; $\hat{\rho}_1 = -0,2875$.

W równaniu (7) pozostały w rezultacie: dwie charakterystyki fizyczne wody $KRS_t^{(p)}$ i $TW_t^{(p)}$, dwa wskaźniki chemiczne jej jakości ($BZT5_t^{(p)}$ i $NOG_t^{(p)}$) oraz dwie zmienne o charakterze cech klimatycznych (TP_{t-1} i WW_t). Pozostałe zmienne, reprezentujące jakość wody epilimnionu, w okresie próby były obojętne dla wielkości odłowów węgorza, co oznacza, że nie wystąpił znaczący dla rozpatrywanego efektu stopień zanieczyszczenia jeziora.

Wymierne straty w populacji węgorza powodowały natomiast między innymi nadmierne wartości liczbowe biochemicznego zapotrzebowania tlenu i zawartości azotu ogólnego. Zachwiane zostały w ten sposób sprzyjające warunki dla rozwoju omawianej ryby węgorzowatej. Odbijało się to zarazem negatywnie na jej odłowach. Przyrost BZT_5 w epilimnionie o 1mg/dm³ powodował bowiem spadek odłowów węgorza średnio o około 0,15 kg. Natomiast z przyrostem masy azotu ogólnego o 1mg/dm³ następował spadek wielkości odłowów węgorza średnio o około 0,33 kg kwartalnie.

Ujemna ocena parametru przy zmiennej $KRS_t^{(p)}$ winna być objaśniona odmiennie, niż $\hat{\alpha}_{ij} < 0$. Niemniej jednak w przypadku węgorza, wykazującego fototaksję ujemną, obserwacje potwierdziły, że w ciemnych miejscach jego przyrosty były nieco lepsze. Stąd też ujemna ocena $\hat{\alpha}_{ij}$ przy zmiennej $KRS_t^{(p)}$ może być logiczna.

Amplituda wahań temperatury powietrza ujemnie wpływała na jego odłow, ale wystarczała wraz z usłonecznieniem do nagrzania wody do temperatury stymulującej odłow węgorza. Statystyki t-Studenta wskazują, że w wielkości odłowów węgorza znacznie wyraźniej odzwierciedlane były zmiany warunków termicznych niż pozostałych zmiennych.

Dużą wartość diagnostyczną posiada znacząca w sensie statystycznym zmienna WW_t , opisująca retencję jeziora. Wymiana wody w jeziorze powoduje bowiem lepsze jej natlenienie, co jest właściwością pozytywną. Dlatego wraz ze wzrostem jej wartości polepszają się warunki rozwoju populacji węgorza, a tym samym rosną jego odłowy.

Empiryczne równanie opisujące reakcje wielkości odłowów szczupaka (*Esox lucius*) na warunki środowiskowe w epilimnionie Jeziora Charzykowskiego ma następującą postać:

$$\begin{aligned} \text{ODSZ}_t = & -0,216 + 0,008 \text{CA}_t^{(p)} + \\ & + 0,228 \text{FF}_t^{(p)} - 0,028 \text{BZT5}_t^{(p)} + \\ & - 0,003 \text{PZOS}_t^{(p)} - 0,011 \text{TW}_t^{(p)} + \\ & - 0,00039 \text{KRS}_t^{(p)} + 0,013 \text{TP}_{t-1} + \eta_{tp}^{(\text{ODSZ})} \end{aligned} \quad (8)$$

gdzie: ODSZ_t – wielkość odłowów szczupaka (w kilogramach),

$\text{CA}_t^{(p)}$ – zawartość wapnia w epilimnionie (w mg/dm^3),

$\text{FF}_t^{(p)}$ – zawartość fosforu fosforanowego w epilimnionie (w mg/dm^3),

$\text{BZT5}_t^{(p)}$ – biochemiczne zapotrzebowanie tlenu w epilimnionie (w mg/dm^3),

$\text{PZOS}_t^{(p)}$ – zawartość substancji organicznej w suchej masie sestonu w epilimnionie (w procentach),

$\text{TW}_t^{(p)}$ – temperatura wody epilimnionu (w stopniach Celsjusza),

$\text{KRS}_t^{(p)}$ – przezroczystość wody epilimnionu (mierzona widzialnością krążka Secchiego w centymetrach),

TP_{t-1} – średnia temperatura powietrza z opóźnieniem kwartalnym (w stopniach Celsjusza)

oraz: $R^2 = 0,7711$; $\hat{\alpha}_\eta = 0,0764$; $DW = 1,994$;
 $\hat{\rho}_1 = -0,0559$.

Równanie (8) ujawnia te charakterystyki wody, które wpływają negatywnie na rozpatrywany efekt ekonomiczny. Wśród zaobserwowanych wielkości zmiennych: $\text{BZT5}_t^{(p)}$, $\text{PZOS}_t^{(p)}$ i $\text{TW}_t^{(p)}$ dominują obserwacje o przekroczonym poziomie ze strefy obojętności. Szczególnie nie-

korzystne jest oddziaływanie zmian biochemicznego zapotrzebowania tlenu. Wskazuje na to wartość statystyki t-Studenta. Wyróżnione wyżej zmienne określają więc poziom szkód w odłowach szczupaka. Wcześniej sygnalizowano, że ujemny szacunek parametru przy zmiennej wyrażającej przezroczystość toni wodnej winien być interpretowany odmiennie, niż pozostałe

$\hat{\alpha}_{ij} < 0$. Zwiększenie bowiem przezroczystości wody jest właściwością świadcząca o poprawie stanu jej czystości. Wynika z tego, że widzialność krążka Secchiego jest jeszcze na poziomie znacznej czystości jeziora pod tym względem. Wartości liczbowe wyrażające klarowność wód epilimnionu w obserwowanym przedziale zmienności nie osiągnęły jeszcze poziomu, sugerującego zanieczyszczenie wody szkodzące rozmiarom odłowów ryb. W przypadku zmiennych $\text{CA}_t^{(p)}$ i $\text{FF}_t^{(p)}$ obserwowane w epilimnionie poziomy zawartości wapnia i fosforu fosforanowego stymulują przyrosty populacji szczupaka, a tym samym wpływają na wzrost masy jego odłowów. Informują o tym dodatnie oceny parametrów strukturalnych przy tych zmiennych.

W przeprowadzonych badaniach empirycznych rozpatrywano wpływ czynników środowiskowych na wielkość odłowów ryb. Obliczenia i analizy wyraźnie wskazują, że czynniki siedliskowe istotnie – ale z różną intensywnością i w odmiennych zestawach – oddziałują na rozmiary odłowów każdego z rozpatrywanych gatunków ryb. Zmiany jakości wód jeziornych i czynników klimatycznych powodują wymierne skutki w gospodarce rybackiej Jeziora Charzykowskiego.

Na zmienne: ODP_t , ODL_t , ODK_t , ODSL_t , ODSJ_t , ODW_t i ODSZ_t znaczący jest wpływ czynników klimatycznych. Przesądza to o sezonowości odłowów płoci, leszcza, krapia, sielawy, siei, węgorza i szczupaka w Jeziorze Charzykowskim.

PODSUMOWANIE

Skonstruowany model oddziaływania zmian jakości wód jeziornych na efekty gospodarki rybackiej jest stabilny dla warunków, które zaistniały w przeszłości. Oznacza to ważność zależności w obserwowanych przedziałach zmienności zmiennych egzogenicznych. Liniowość może bowiem obowiązywać tylko w wąskich przedziałach zmienności. Przy ich rozszerzeniu może ujawnić się przewaga związków krzywo-

liniowych. Ponadto wysokie wartości wyrazów wolnych i odchylenia standardowego składnika losowego w niektórych równaniach empirycznych mogą też wynikać z uwzględnienia wśród zmiennych egzogenicznych ekonometrycznego modelu gospodarki rybackiej Jeziora Charzykowskiego tylko czynników środowiskowych, tj. fizycznych, chemicznych i biologicznych cech wody oraz czynników klimatycznych. W zbiorze zmiennych określających wielkość odłowów ryb celowo pominięto: ilość pokarmu i tempo jego konsumpcji, dynamikę populacji ryb i czynniki genetyczne, będące w znacznym stopniu następstwem zmian warunków środowiskowych. Świadomie nie uwzględniono też uwarunkowań ekonomicznych, zwłaszcza klasycznych czynników produkcji. Okazało się bowiem, że zaangażowanie pracy i kapitału oraz techniki połowowe w okresie próby były stabilne, co oznacza, że nie wpływały na rozpatrywany efekt działalności gospodarczej. Można stwierdzić, że istnienie ustalonego przez limnologów i ichtiologów optimum warunków środowiskowych dla rozwoju każdego z gatunków ryb ważnych gospodarczo umożliwiło precyzyjne analizowanie wpływu odchylenia od tych optymalnych warunków siedliskowych na efektywność gospodarki rybackiej.

LITERATURA

1. Agnew T.T., 1979. Optimal Exploitation of a Fishery Employing a Non-linear Harvesting Function, *Ecological Modelling*, 6, 47–57.
2. Dyer T.G., Gillooly J.F., 1979. Symulating Fish Production Using Exponential Smoothing, *Journal Ecological Modelling*, 6, 77–87.
3. Jorgensen S.E., 1980. *Lake Management*, Pergamon Press, Oxford-New York-Toronto-Sydney-Paris-Frankfurt.
4. Ramczyk M.A., 1989. Dynamiczny model ekonomicznych skutków zmian jakości wód jeziornych, *Acta Universitatis Nicolai Copernici, Oeconomia*, 20, 201–212.
5. Ramczyk M.A., 2008. Ekonometryczny model wpływu zmian jakości wód jeziornych na odłowy ryb. Równania odłowów szczupaka [w:] Garbacz J. (red.), *Diagnozowanie stanu środowiska. Metody badawcze – prognozy*, Bydgoskie Towarzystwo Naukowe, Bydgoszcz, 141–148.
6. Ramczyk M.A., 2012. Ekonometryczny model wpływu zmian jakości wód jeziornych na odłowy ryb. Uogólnione równania empiryczne [w:] Garbacz J. (red.), *Diagnozowanie stanu środowiska. Metody badawcze – prognozy*, Bydgoskie Towarzystwo Naukowe, Bydgoszcz, 225–236.
7. Ramczyk M.A., 2006. Ekonometryczny model wpływu zmian jakości wód jeziornych na zmiany struktury odłowów ryb [w:] Garbacz J. (red.), *Diagnozowanie stanu środowiska. Metody badawcze – prognozy*, Bydgoskie Towarzystwo Naukowe, Bydgoszcz, 229–239.
8. Ramczyk M.A., 2007. Ekonometryczny model wpływu zmian jakości wód jeziornych na odłowy ryb [w:] Garbacz J. (red.), *Diagnozowanie stanu środowiska. Metody badawcze – prognozy*, Bydgoskie Towarzystwo Naukowe, Bydgoszcz, 161–168.
9. Ramczyk M.A., Giryn C., 2010. Ekonometryczny model gospodarki rybackiej jeziora Charzykowskiego na przykładzie odłowów krapia, *Studies and Proceedings of Polish Association for Knowledge Management*, 27, 217–224.
10. Ramczyk M.A., 2010. Modelowanie odłowów sielawy i siei [w:] Garbacz J. (red.), *Diagnozowanie stanu środowiska. Metody badawcze – prognozy*, Bydgoskie Towarzystwo Naukowe, Bydgoszcz, 189–198.
11. Ramczyk M.A., Wiśniewski J.W., 1989. Jakość wód jeziornych a efektywność gospodarki rybackiej, *Wiadomości Statystyczne*, 8, 32–34.