

Tytuł rozprawy doktorskiej:

**„Waloryzacja i ocena układu ichtiofauny wód Zatoki Puckiej
w oparciu o podejście ekosystemowe”**

Autor: mgr Piotr Pieckiel

Streszczenie

Zatoka Pucka jest uznawana za unikatowy i cenny przyrodniczo obszar morski w granicach wód terytorialnych Polski, przez co włączono ją w granice obszaru Natura 2000 ochrony siedlisk i ptaków oraz ustanowiono tu park krajobrazowy. Ten płytkowodny rejon dzieli się na dwie części, przedzielone piaszczystym wypłyceciem zwanym Ryfem Mew: Zalew Pucki, stanowiący jego wewnętrzną część i Zatokę Pucką zewnętrzną, stanowiącą jego część zewnętrzną, połączoną bezpośrednio z wodami Zatoki Gdańskiej i Południowym Bałtykiem. Zatoka Pucka, z uwagi na niewielkie głębokości, w szczególności w rejonie jej wewnętrznej części, w Zalewie Puckim, sięgające średnio zaledwie 3 m, jest miejscem sprzyjającym rozwojowi bujnej roślinności podwodnej, w tym tworzeniu się potęci łąk podwodnych trawy morskiej *Zostera marina* i zwartych trzcinowisk u jego brzegów. Bujna roślinność i rozległe płycizny są niezwykle cenne dla ichtiofauny zarówno pod względem rozwoju i życia wielu gatunków osiadłych jak i okresowo dla ryb migrujących, wykorzystujących je jako tarlisko i miejsce podchowu narybku. Do Zatoki Puckiej uchodzą również rzeki, jak Reda i Zagórska Struga czy Płutnica, z których migrują tu gatunki ryb słodkowodnych i dwuśrodowiskowych. Warunki hydrologiczne i morfologiczne Zatoki Puckiej sprzyjają jednakże też rozwojowi gospodarczemu i rekreacji człowieka, co doprowadziło do znaczącej industrializacji tego rejonu oraz rozwoju rybołówstwa i turystyki wodnej, jakich nie obserwuje się w takim nasileniu na innych częściach polskiego wybrzeża.

Usługi ekosystemowe, jakie świadczy Zatoka Pucka, które były atraktorem rozwoju antropogenicznego i eksploatacji regionalnych zasobów przyrodniczych, są obecnie zaburzone. Obszar Zatoki Puckiej uznaje się też na podstawie wielu źródeł, zarówno ocen wykonywanych na rzecz Ramowej Dyrektywy Wodnej czy analiz rybackich, za zdegradowany

przyrodniczo. Początków drastycznych negatywnych przemian poszukuje się tu u schyłku lat 70. i 80. ubiegłego wieku, kiedy to poziom zanieczyszczeń i wpływów antropogenicznych był krytyczny dla wielu składników ekosystemu tego rejonu. Za główne źródła problemów uznaje się w tamtych latach zrzut nieoczyszczonych ścieków komunalnych bezpośrednio do wód Zatoki Puckiej oraz eksploatację roślinności podwodnej do produkcji agar-agar. Zrzut ścieków komunalnych przyczynił się pośrednio do ogólnego wzrostu eutrofizacji wód, czego konsekwencją było pogorszenie się ich właściwości chemicznych i fizycznych, a przez to załamanie się całego ekosystemu rejonu. Zatoka Pucka ponadto znajduje się w strefie oddziaływania największej polskiej rzeki - Wisły, niosącej do wód Bałtyku znaczący ładunek biogenów i różnych zanieczyszczeń z obszaru swojej zlewni, zajmującej powyżej połowy powierzchni Polski. Nowo powstałe warunki nie podtrzymały dogodnych warunków rozwoju ichtiofauny, zarówno w oparciu o jakość wody jak również ich habitatów roślinnych, jakie obserwowano tu wcześniej.

Poprzez lata trwających w Zatoce Puckiej negatywnych przemian, a w szczególności tuż po nich tj. lat 90. ubiegłego wieku na temat stanu ichtiocenozy tego rejonu powstało wiele opracowań, zarówno w oparciu o statystyki połowowe rybackie czy też ogólną wiedzę ekspercką. W opracowaniach tych opisano stopniowo, na przełomie lat, zachodzące tu zmiany w strukturze ilościowej i jakościowej ryb ze szczególnym uwzględnieniem praktycznie całkowitego wycofania się niektórych ważnych regionalnie, użytkowych, gatunków jak sieja (*C. lavaretus*, Linnaeus 1758), szczupak (*E. lucius*, Linnaeus 1758) czy płoć (*R. rutilus*, Linnaeus 1758) oraz przejścia regionalnej dominacji przez gatunki nieużytkowe i o szerokim spektrum tolerancji na zmienne i pogorszone warunki środowiska naturalnego, jakie tu zastały, jak ciernik (*G. aculeatus*, Linnaeus 1758) czy gatunek obcy dla obszaru Bałtyku babka krągła (*N. melanostomus*, Pallas 1814). Natomiast przez ostatnie kilkanaście lat nie powstała żadna nowa praca naukowa odnosząca się do ichtiofauny Zatoki Puckiej, która by w sposób kompleksowy ukazała obecny jej stan na tle zmian historycznych, którą to lukę uzupełnia prezentowana tu praca doktorska. Po raz pierwszy w historii tego akwenu wykazano tu również skład jakościowy i ilościowy ichtiocenozy opierając się na szczegółowych wieloletnich wynikach połowów badawczych, oraz dokonano waloryzacji obszaru w oparciu o podejście ekosystemowe, na podstawie autorskiego multimetrycznego wskaźnika ichtiologicznego B_{fish} .

Połowcy badawcze, wykorzystane do celów tego opracowania, prowadzone były za pomocą standardowej sieci skrzelowej typu NORDIC za HELCOM na przełomie lat 2011 do 2017 na stacjach badawczych znajdujących się w Zalewie Puckim i Zatoce Puckiej zewnętrznej. W wyniku przeprowadzonych połowów badawczych przeanalizowano łącznie 485 prób składających się na pojedynczą 45 m badawczą sieć wielopanelową. Skład taksonomiczny ichtiofauny Zatoki Puckiej na podstawie przeprowadzonych badań składał się na 40 gatunków ryb. Skład jakościowy połowów nie odbiegał znacząco od danych historycznych natomiast skład ilościowy charakteryzował się już znaczącymi zmianami. Niegdyś licznie występujące tu gatunki słodkowodne były obecnie znacząco zredukowane, dominację natomiast przejęły gatunki pospolite morskie oraz niezależne bezpośrednio od badanego rejonu i jeden gatunek obcy. W całym analizowanym rejonie dominowała pospolita w rejonie Południowego Bałtyku stornia (*P. flesus*, Linnaeus 1758) i gatunek obcy babka krągła (*N. melanostomus*, Pallas 1814), a jedynym obecnie liczным gatunkiem słodkowodnym był okoń (*P. fluviatilis*, Linnaeus 1758). Gatunki ryb niegdyś stanowiące cenne zasoby połowowe dla lokalnego rybołówstwa jak sieja (*C. lavaretus*, Linnaeus 1758), szczupak (*E. lucius*, Linnaeus 1758) czy płoć (*R. rutilus*, Linnaeus 1758) wystąpiły w połowach badawczych łącznie na poziomie poniżej 1% ogólnej liczebności względnej. Ichtiocenoza badanego rejonu charakteryzowała się formowaniem w dwa zespoły: Zalewu Puckiego — mającej przewagę jakościową gatunków ryb słodkowodnych nad morskimi i Zatoki Puckiej zewnętrznej — mającej przewagę jakościową gatunków ryb morskich nad słodkowodnymi, tak jak opisywało to zjawisko na podstawie wiedzy eksperckiej wielu poprzednich autorów, jednakże za wydzielenia te statystycznie odpowiadały gatunki dominujące obecnie w połowach badawczych jak stornia (*P. flesus*, Linnaeus 1758) i babka krągła (*N. melanostomus*, Pallas 1814), co jest tu zjawiskiem nowym. Wydzielenia, które zaobserwowano, byłyby wyraźniejsze gdyby struktura ilościowa w obu zespołach ryb byłaby bardziej wyrównana. Na uwagę zasługuje fakt drastycznego spadku liczebności dorsza (*G. morhua*, Linnaeus 1758) w porównaniu z danymi historycznymi oraz brak dominacji ciernika (*G. aculeatus*, Linnaeus 1758), wcześniej opisanego jako główny składnik ichtiofauny w rejonie, w czasach po załamaniu się ekosystemu Zatoki Puckiej.

Na podstawie autorskiego multimetrycznego wskaźnika ichtiologicznego B_{fish} , który składa się na dwa moduły: jakościowy i ilościowy, ustalające stan bogactwa gatunkowego

oraz udziału w strukturze liczebności gatunków sklasyfikowanych jako najcenniejszych dla określonego rejonu, stan Zatoki Puckiej oceniono na ogólny zły, jednakże ze wzrostowym trendem na przełomie badanego okresu od 2011 do 2017 roku. Gorzej oceniono Zalew Pucki, gdzie cenne gatunki tego rejonu nie występują licznie, a dominuje tu gatunek obcy, jakim jest babka krągła (*N. melanostomus*, Pallas 1814), znacząco obniżający jego wartość. Zatoka Pucka zewnętrzna natomiast została oceniana wyżej, głównie z uwagi, iż w tym rejonie dominował gatunek tu typowy choć pospolity, jakim jest stornia (*P. flesus*, Linnaeus 1758). Jednakże w obu przypadkach struktura ilościowa ichtiocenozy znacząco odbiega, zarówno od danych historycznych jak i dokonywały się zmiany o nowym wymiarze w nawiązaniu do inwazji obcego gatunku jakim jest tu babka krągła (*N. melanostomus*, Pallas 1814). W obu przypadkach również zaobserwowano brak wyrównanej struktury ilościowej ichtiofauny analizowanych rejonów oraz niską liczbę gatunków uznanych za najcenniejsze dla badanych części Zatoki Puckiej.

Obecny stan ichtiocenozy Zatoki Puckiej zależy jest od wielu czynników, ich źródeł należy się doszukiwać jeszcze w latach 70. i 80 ubiegłego wieku. Zmiany jakie zaszły w tamtym okresie spowodowały na tyle trwałe skutki w strukturze, przede wszystkim ilościowej w ichtiofaunie rejonu, których prawdopodobnie bez czynnych działań ochronnych nie da się usunąć. Do chwili obecnej istotnej poprawie nie uległa fitocenoza Zatoki Puckiej, stanowiąca o dobrobycie występujących tu zespołów ryb, przede wszystkim gatunków słodkowodnych Zalewu Puckiego. Kolejnym czynnikiem obecnie obniżającym jakość ichtiofauny Zatoki Puckiej jest również lokalne rybołówstwo, mające zbyt wysoki potencjał połowowy w porównaniu do poziomu zasobów naturalnych. Jednocześnie lokalne społeczności rybackie są zagrożone działalnością połowową rybołówstwa dalekomorskiego, które skutecznie obniża zasoby ryb w regionie, przede wszystkim takiego gatunku, cenionego tu w połowie, jak dorsz (*G. morhua*, Linnaeus 1758), co widać zarówno w statystykach połowowych jak i w wynikach połowów naukowych. Wzrastająca industrializacja i antropopresja oraz ruch turystyczny, prognozowane na podstawie wielu miejscowych planów i strategii rozwoju oraz krajowego Projektu Planu Zagospodarowania Przestrzeni Morskiej dla obszaru Zatoki Puckiej, przy obecnym stanie ichtiocenozy wymaga konkretnych działań zapobiegających dalszemu pogarszaniu się jej stanu. Dalszy rozwój badanego rejonu musi być rozwojem zrównoważonym, który będzie prowadził do odnowy zasobów

ichtiofauny, odtworzenia oraz poprawy jakości jej habitatów. Dzięki wskaźnikowi B_{fish} jest możliwa kontrola tego procesu oraz wskazywanie działań naprawczych.

Summary

The Gulf of Puck is considered an environmentally unique and valuable within the Polish territorial waters sea area, which is why it was included in Nature 2000 area of protection of habitats and birds and why a landscape park was established here. This shallow-water region consists of two parts divided by a sandy shallow called Ryf Mew: the Bay of Puck, which is its internal area and the Outer Gulf of Puck, which is its outer area connected directly to the Bay of Gdańsk and the South Baltic Sea. Due to its shallow waters, especially in its inner area, the Bay of Puck, where the depth is on average 3 m, the Gulf of Puck is a place that favours the development of rich underwater vegetation, including the formation of meadows of sea grass *Zostera marina* and densely growing reeds at its banks. Thick vegetation and vast shallows are extremely valuable for ichtyofauna, both in regards to the development and life of many sedentary species as well as periodically for migratory fish, that use it as spawning grounds and a location for the raising of juvenile forms. Furthermore, rivers such as Reda and Zagórska Struga or Płutnica flow into the Gulf of Puck, from which species of freshwater fish and anadromous and catadromous fish migrate. The hydrological and morphological conditions of the Gulf of Puck, however, favor the economical development and recreation of people as well, which led to a significant industrialization of this region and to the development of fishery and water tourism not observed to this extent in other areas of the Polish coast.

The ecosystem services provided by the Gulf of Puck, which were the attractor for anthropogenic development and the exploitation of regional environmental resources, are currently disrupted. The area of the Gulf of Puck, according to many sources such as assessments performed for both the Water Framework Directive or fishery analyses, is considered to be degraded environmentally. The beginnings of those drastic changes are looked for at the end of the 70s and 80s of the previous century, when the level of anthropogenic pollution was critical for many elements of the ecosystem of this region. The

main source of the problems is considered to be the discharge of untreated communal sewage directly to the waters of the Gulf of Puck and the exploitation of the underwater vegetation for the manufacture of agar-agar. The discharge of communal sewage directly contributed to the general increase in water eutrophication which resulted in the deterioration of its chemical and physical properties, and in turn led to the collapse of the entire ecosystem of the region. The Gulf of Puck furthermore is located in the area of influence of the largest Polish river – Vistula, which carries a significant load of biogens and various pollutants from its catchment which occupies over half of the area of Poland. The newly formed circumstances did not sustain favorable conditions for the development of ichthyofauna, both in regards to the quality of water as well as the existence of habitats within vegetation, which were previously observed in this area.

Throughout the years of negative changes taking place in the Gulf of Puck, and especially right after they took place, that is the 90s of the previous century, there were a lot of works written on the condition of the region's ichthyocenosis, based both on fishing statistics and general expert knowledge. In those works changes that took place were described gradually, over the years, both in the quantitative and qualitative structure of the fish with an emphasis on the almost complete withdrawal of some regionally significant, commercial species such as whitefish (*C. lavaretus*, Linnaeus 1758), pike (*E. lucius*, Linnaeus 1758) or roach (*R. rutilus*, Linnaeus 1758) and on regional domination of non-commercial species with a wide spectrum of tolerance for changing and worsening conditions of the natural environment that they found themselves in, such as the three-spined stickleback (*G. aculeatus*, Linnaeus 1758) or a species foreign to the Baltic region – round goby (*N. melanostomus*, Pallas 1814). In over a dozen past years, however, no new scientific publication was released concerning the ichthyofauna of the Gulf of Puck, which presented its current state in the context of historical changes in a complex manner, with this gap being filled by this doctoral thesis. For the first time in the history of this basin the qualitative and quantitative composition of the ichthyocenosis is presented, based on detailed data from scientific research collected over the years, and a valorization of the region is performed based on the ecosystem approach, with the use of the author's multimetric ichthyological indicator B_{fish} .

The scientific fishing used in this paper were conducted with a standard NORDIC gill net as per HELCOM, between 2011 and 2017, on survey stations located in the Bay of Puck and the Outer Gulf of Puck. As a result of the conducted research a total of 485 samples consisting of a single 45 m multipanel research gill net were analysed. The taxonomic composition of the Gulf of Puck, based on the conducted research, was made up of 40 fish species. The qualitative composition of the catches did not vary significantly from the historical data, however the quantitative composition was characterized by significant differences. Freshwater species previously commonly found here were currently significantly reduced, while common seawater species and species not directly dependent on the researched region and one alien species dominated the area. The entirety of the analysed region was dominated by the commonly found in the South Baltic flounder (*P. flesus*, Linnaeus 1758) and an alien species round goby (*N. melanostomus*, Pallas 1814), and the only common fresh water species was perch (*P. fluviatilis*, Linnaeus 1758). Species that previously were a valuable resource for local fisheries, such as whitefish (*C. lavaretus*, Linnaeus 1758), pike (*E. lucius*, Linnaeus 1758) or roach (*R. rutilus*, Linnaeus 1758) were found to be at less than 1% of the relative quantity in the surveyed catch.

The ichthyocenosis of the studied region was characterized by the formation of two groups: the Bay of Puck – with a qualitative prevalence of fresh water species over sea water species, and the Outer Gulf of Puck – with the qualitative prevalence of sea water species over fresh water species, as it was described based on expert knowledge by many authors previously, however this division was statistically influenced by species currently dominating in the scientific catch, such as flounder (*P. flesus*, Linnaeus 1758) and round goby (*N. melanostomus*, Pallas 1814), which is a new occurrence here. This observed division would be clearer if the quantitative structure in both groups was more uniform. It is important to note the drastic decrease in the quantity of cod (*G. morhua*, Linnaeus 1758) in comparison to historic data and the lack of domination by three-spined stickleback (*G. aculeatus*, Linnaeus 1758), previously described as the main component of ichthyofauna in this region in the time after the ecosystem of the Gulf of Puck collapsed.

Based on the author's multimetric ichthyological indicator B_{fish} , which consists of two modules: qualitative and quantitative, which determine the state of species abundance and their part in the structure of the quantity of species classified as most valuable for a given

area, the state of the Gulf of Puck was determined to be generally bad, but with an improving tendency over the researched period from 2011 to 2017. The state of the Bay of Puck was rated lower, where species valuable for this region are not found in abundance, and an alien species round goby (*N. melanostomus*, Pallas 1814) dominates, significantly decreasing its value. The Outer Gulf of Puck, however, was rated higher, mostly due to the fact that in this region a typical, though common, species – flounder (*P. flesus*, Linnaeus 1758) dominated. However in both cases the quantitative structure of ichthyocenosis significantly varied from the historic data and changes of a new character were taking place in regards to the invasion of an alien species that is round goby (*N. melanostomus*, Pallas 1814). In both cases a lack of uniform quantitative structure of ichthyofauna and a low quantity of species considered most valuable for the studied areas of the Gulf of Puck was observed.

The current state of ichthyocenosis of the Gulf of Puck is dependent on many factors, their sources should be looked for in the 70s and 80s of the previous century. Changes that took place in that period caused changes to the structure of ichthyofauna in this region, especially quantitative, that are permanent enough that without active protective actions they probably cannot be reversed. Until now the phytoocenosis of the Gulf of Puck which determines the wellbeing of sets of fish found here, especially the fresh water species of the Bay of Puck, did not improve. The next factor currently lowering the quality of the ichthyofauna of the Gulf of Puck is local fishing, which has much too high of a catch potential in comparison to the level of natural resources. At the same time local fishing communities are threatened by deep-sea fishing activities, which effectively lower the level of fish resources in the region, especially of such a valuable fishing species here as cod (*G. morhua*, Linnaeus 1758), which can be seen both in catch statistics and in the data collected from scientific fishing. The growing industrialization and anthropopression and the presence of tourists, forecast based on many local zoning plans, development strategies and the national Maritime Spatial Plan of the Polish Sea Areas for the Gulf of Puck, with the current state of ichthyocenosis requires concrete actions to prevent the deterioration of its state. Further development of the studied region must be a sustainable development, which will lead to the renewal of ichthyofauna resources,

recreation and improvement of its habitats. The B_{fish} indicator allows for the control of this process and for the indication of restorative actions.

Piotr Reclaw