

mgr inż. Konrad Stawecki  
Instytut Rybactwa Śródlądowego im. Stanisława Sakowicza  
Zakład Ichtiologii, Hydrobiologii i Ekologii Wód

### **Streszczenie rozprawy doktorskiej p.t.:**

## **„Zmiany zawartości fosforu, wybranych wskaźników jakości wód i odłowów rybackich oraz ocena stanu troficznego i ekologicznego jezior typu sielawowego”.**

**Promotor pracy: dr hab. Agnieszka Napiórkowska-Krzebietke**

Jeziora typu sielawowego to zazwyczaj duże i głębokie (>25m głębokości maksymalnej) zbiorniki dimiktyczne, wyróżniające się pełną stratyfikacją wód latem. Cechują się zwykle bogatą w gatunki ichtiofauną, a dzięki dobrym warunkom tlenowym – także znaczącym udziałem koregonidów (sielawy i siei). Dzięki naturalnym uwarunkowaniom są relatywnie mało żyzne (mezo- lub mezo-eutoficzne) i odporne na degradację.

Głównymi celami pracy było określenie tendencji i zakresu zmian zawartości fosforu, wybranych parametrów środowiskowych i struktury ichtiofauny w jeziorach typu sielawowego, a także ocena ich stanu troficznego i ekologicznego oraz wskazanie czynników decydujących o występowaniu w nich ryb z grupy koregonidów, głównie sielawy. W związku z powyższym, w latach 2000-2014, zbadano osiemnaście jezior typu sielawowego, położonych w północno-wschodniej Polsce – na Pojezierzu Olsztyńskim, w górnej zlewni rzek Marózki i Łyny (Pluszne, Mielno, Maróz, Święte i Łańskie), w Krainie Wielkich Jezior Mazurskich (Dejguny i jeziora kompleksu Wielkich Jezior Mazurskich – Mamry Północne, Święcajty, Dargin, Niegocin, Jagodne, Tałtowisko, Tałty-Ryńskie, Mikołajskie i Bełdany) oraz na Pojezierzu Suwalsko-Augustowskim (Białe Filipowskie, Hańcza i Wigry). Opisano sezonową zmienność temperatury, zawartości tlenu, koncentracji fosforu, azotu i węgla organicznego, odczynu wody, alkaliczności, twardości oraz chlorofilu *a* i zawiesiny. Na podstawie zawartości głównych jonów ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) oraz żelaza ogólnego, krzemionki i przewodnictwa elektrolitycznego określono skład chemiczny i typ zasolenia wód. Wykorzystując dane z odłowów gospodarczych scharakteryzowano zmiany w składzie i strukturze

ichtiofauny badanych jezior typu sielawowego i powiązano je z warunkami środowiskowymi, z uwzględnieniem spełnienia wymagań warunków bytowych koregonidów.

Bazując na powyższych danych scharakteryzowano warunki termiczno-tlenowe badanych jezior, w tym tempo narastania deficytów zawartości tlenu w izolowanych warstwach wód (meta- i hypolimnionie) w okresie wiosenno-letnim. Opisano sezonowe zmiany zawartości fosforu oraz oceniono stan trofii badanych zbiorników. Wykorzystując indeks nasycenia wód węglanem wapnia (LSI, indeks Langeliera) określono intensywność procesów dekalcyfikacji wód. Wskazano, że współstrącanie fosforanów na kalcycie może istotnie ograniczać dostępność biologiczną fosforu dla producentów pierwotnych. Dokonano także oceny stanu ekologicznego omawianych jezior pod względem wybranych parametrów biologicznych – fitoplanktonu i ichtiofauny oraz fizykochemicznych.

Wykazano, że badane jeziora różniły się znacząco zawartością fosforu, który był głównym czynnikiem decydującym o stanie ich trofii. O sezonowych zmianach zawartości tego pierwiastka w głównej mierze decydowały warunki tlenowe i miktyczne, a także morfometria jezior. Najmniejszą żyznością, na poziomie mezo-eutrofii, charakteryzowały się Hańcza, Białe Filipowskie, Wigry, Łańskie i Pluszne. W jeziorach tych istniał statystycznie istotny związek między zawartością fosforu w powierzchniowych warstwach wód wiosną, a koncentracją chlorofilu *a* i przezroczystością wód w okresie stagnacji letniej. Wyróżniały się one występowaniem krzywej tlenowej typu heterogradowego, obecnością znaczących ilości O<sub>2</sub> przy dnie i ograniczoną rolą zasilania wewnętrznego w fosfor, uwalniany latem z osadów dennych. Jednak tylko w Hańczy i Wigrach pierwiastek ten był czynnikiem limitującym produkcję pierwotną, o czym świadczył wysoki (>20:1) stosunek wagowy TN do TP. Pozostałe zbiorniki należały do silniej zeutrofizowanych i wyróżniały się obniżoną przezroczystością wód oraz podwyższoną koncentracją chlorofilu *a* w całym sezonie wegetacyjnym, a także znaczącymi ubytkami tlenu w izolowanych warstwach wód latem (meta- i hypolimnionie). Ilość fosforu przy dnie podczas stagnacji letniej znacząco się w nich zwiększała. Czynnikiem ograniczającym produkcję pierwotną był azot. O stanie ekologicznym jezior decydowały zazwyczaj wskaźniki związane z fitoplanktonem.

Stan ekologiczny badanych jezior na podstawie ichtiofauny oceniono w oparciu o jeziorowy indeks rybny LFI+, bazujący na danych o odłowach rybackich. Na jego

podstawie bardzo dobrą ocenę otrzymało jezioro Hańcza, a w ostatnich latach badań także Łańskie i Białe Filipowskie. Zbiorniki te wyróżniały się z reguły znaczącym udziałem koregonidów oraz gatunków litoralowych. Umiarkowanym stanem ekologicznym, ale tylko w początkowych latach badań cechowały się Wigry. O dobrej ocenie pozostałych jezior decydował z reguły udział małych karpiowatych i niewielki odsetek gatunków litoralowych. Ocena stanu ekologicznego pod względem ichtiofauny była przeważnie zbieżna, wynikającą ze wskaźników fitoplanktonowych (PMPL), choć w niektórych jeziorach obniżały ją metrikisy sinicowy (Pluszne), biomasy ogólnej (Pluszne i Łańskie) i chlorofilowy (Święte).

Indeks Langeliera (LSI), będący miarą intensywności dekalcyfikacji wód, był dobrym wskaźnikiem określającym zarówno nasilenie procesów współstrącania fosforanów na kalcycie, jak i uwalniania związków fosforu wskutek rozpuszczania kompleksów Ca-P w warunkach beztlenowych z osadów dennych. W miarę wzrostu żyzności wód jezior rola współstrącania fosforanów na kryształach  $\text{CaCO}_3$ , jako mechanizmu skutecznej immobilizacji P traciła na znaczeniu, mimo znacznego nasilenia dekalcyfikacji w warstwie trofogenicznej.

Koregonidy były stale obecne w odłowach gospodarczych w jedenastu spośród osiemnastu badanych jezior. Ryby te nie występowały lub były odławiane sporadycznie w zbiornikach należących do kompleksu Wielkich Jezior Mazurskich. Głównym czynnikiem ograniczającym występowanie sielawy i siei były niekorzystne warunki tlenowe latem w chłodnych, głębokich warstwach wód. O pogarszającej się jakości środowiska tych jezior świadczyły też rosnące udziały sandacza, który preferuje wody o niskiej przezroczystości, a także drobnych sortymentów ryb karpiowatych.

## **English summary**

The vendace-type lakes are usually large and deep (>25m maximum depth) dimictic reservoirs, stratificated in summer. They are usually characterized by ichthyofauna, rich in species, and - thanks to good oxygen conditions - also by a significant proportion of coregonids (vendace and whitefish). Thanks to natural conditions they are characterized by relatively low trophy level (meso- or meso-eutrophy) and resistance to degradation.

The main objectives of the study were to determine the trends and scope of changes in phosphorus content, selected environmental parameters and the structure of

ichthyofauna in vendace-type lakes, as well as to assess their trophic and ecological status and to indicate the factors determining the occurrence of coregonids, mainly vendace. Therefore, in the years 2000-2014, eighteen vendace-type lakes, located in north-eastern Poland: in the catchment basin of the Marózka and Łyna rivers in the Olsztyn Lake District (Pluszne, Mielno, Maróz, Święte and Łańskie), in the Land of Great Masurian Lakes (Dejguny and lakes of the Great Masurian Lakes System – Mamry Północne, Święcajty, Dargin, Niegocin, Jagodne, Tałtowisko, Tałty-Ryńskie, Mikołajskie and Bełdany) and in the Suwałki-Augustów Lake District (Białe Filipowskie, Hańcza and Wigry) were investigated. Seasonal variability of temperature, oxygen content, concentrations of phosphorus, nitrogen and organic carbon, water pH, alkalinity, hardness, chlorophyll *a* and seston content were described. Chemical composition and water salinity type were determined on the basis of main ions ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), total iron, silicates and electrolytic conductivity. The changes in the composition and structure of ichthyofauna in the examined vendace-type lakes were characterized by the use of data from commercial fish catches and related to environmental conditions, taking into account the fulfillment of living conditions requirements of coregonids.

Based on the above data, the thermal and oxygen conditions of the lakes studied were characterized, including the rate of increasing oxygen deficits in the isolated water layers (meta- and hypolimnion) in spring/summer period. Seasonal changes of phosphorus content were described and the trophic state of the examined reservoirs was evaluated. Using the calcium carbonate saturation index (LSI, Langelier index) the intensity of water decalcification processes was determined. It was indicated that coprecipitation of phosphates on calcite may significantly limit biological availability of phosphorus to primary producers. The ecological status of the lakes was also evaluated in terms of selected biological – phytoplankton and ichthyofauna – as well as physicochemical parameters.

It was shown, that the lakes studied differed significantly in the content of phosphorus, which was the main factor determining the state of their trophy. Seasonal changes in the content of this element were mainly determined by oxygen and mictic conditions, as well as lake morphometry. The lowest fertility, at the meso-eutrophic level, was observed in Hańcza, Białe Filipowskie, Wigry, Łańskie and Pluszne. In these lakes there was a statistically significant correlation between phosphorus content in

surface water layers in spring and both: chlorophyll *a* concentration and water transparency during summer stagnation. They were distinguished by the occurrence of heterograde oxygen curve, the presence of significant amounts of O<sub>2</sub> at the bottom and the limited role of internal phosphorus loading, released in summer from bottom sediments. However, only in Hańcza and Wigry this element was a limiting factor of primary production, which was proved by the high (>20:1) weight ratio of TN to TP in these lakes. Other reservoirs were distinguished by higher trophic, reduced water transparency and increased chlorophyll *a* concentration in the whole vegetation season, as well as significant oxygen losses in the isolated water layers in summer (meta- and hypolimnion). The amount of phosphorus at the bottom during summer stagnation significantly increased in them. The factor limiting primary production was nitrogen. The ecological status of lakes was usually determined by phytoplankton-related indicators.

The ecological status of the studied lakes in terms of ichthyofauna was determined on the basis of the LFI+ (Lake Fish Index), which is based on commercial fish catches data. Lake Hańcza, during the whole research period, was distinguished by a very good ecological status, whereas Łańskie and Białe Filipowskie only in recent years of research. These lakes were usually characterized by a significant share of coregonids and littoral fish species. Lake Wigry was characterized by moderate ecological status, but only in the early years of the study. The good ecological status of the other lakes was a result of relatively high proportion of “small” cyprinids and a low percentage of littoral fish species. The assessment of the ecological status in terms of ichthyofauna was mostly consistent with the assessment resulting from the Phytoplankton Index for Polish Lakes (PMPL), although in some lakes it was reduced by component metrics, i.e. biomass of cyanobacteria (Pluszne), total biomass (Pluszne and Łańskie) and chlorophyll *a* (Święte).

The Langelier Index (LSI) was a good indicator of the intensity of phosphate co-precipitation on calcite and the release of phosphorus compounds due to dissolution of Ca-P complexes from bottom sediments under anaerobic conditions. The role of phosphate co-precipitation on CaCO<sub>3</sub> crystals, as a mechanism of effective immobilization of P, lost its importance as the trophic of lakes increased.

Coregonids were constantly present in commercial catches in eleven out of eighteen lakes of the vendace-type studied. These fish did not occur or were caught

occasionally in eutrophic reservoirs belonging to the Great Masurian Lakes System. The main factor limiting the occurrence of vendace and whitefish in these lakes was unfavourable oxygen conditions in summer in cool, deep layers of water. The deteriorating condition of these lakes was also evidenced by the growing share of pikeperch, which prefers waters with low transparency, as well as small cyprinids.

*Konrad Stawicki*