

**Anna Luzeńczyk**

*„MSY (maximum sustainable yield) approach in fish stock management:  
an example of the Baltic Sea”*

Praca doktorska składa się z trzech powiązanych tematycznie artykułów naukowych (Horbowy i Luzeńczyk 2012, Horbowy i Luzeńczyk 2016, Luzeńczyk 2017).

Zasadniczymi celami niniejszej pracy doktorskiej było:

1. Opracowanie łatwej w zastosowaniu metody wyznaczania punktów referencyjnych MSY (takich jak:  $MSY$ ,  $B_{MSY}$ ,  $F_{MSY}$  oraz ARPs). Metoda bazuje na połączeniu YPR i SPR z modelami stado-rekrutacja, które jest kluczowe, gdy rekrutacja jest zależna od wielkości stada (Horbowy i Luzeńczyk 2012).
2. Zbadanie wpływu zależności międzygatunkowych oraz zmian zagęszczenia stada na wartości punktów referencyjnych MSY. Obowiązujące punkty referencyjne MSY dla stad bałtyckich obliczane są na podstawie modeli jednogatunkowych, przy stałych parametrach wzrostu i śmiertelności naturalnej. Natomiast w przypadku, gdy pod uwagę brane są zależności międzygatunkowe oraz zmiany zagęszczenia stada, punkty referencyjne MSY mogą być znacząco różne. Mechanizm powyższych czynników przedstawiony został na przykładzie stada szprota bałtyckiego, którego średnia masa osobnicza i śmiertelność naturalna zależna jest od zagęszczenia stada, a śmiertelność naturalna dodatkowo od wielkości stada dorsza, poprzez relację drapieżnik-ofiara (Horbowy i Luzeńczyk 2016).
3. Zbadanie wpływu czynników biologicznych (takich jak: masa osobnicza, dojrzałość płciowa, śmiertelność naturalna w grupach wieku), czynników związanych z rybołówstwem (selektywność) i środowiskiem (szereg czynników biotycznych i abiotycznych) na punkty referencyjne MSY. Punkty referencyjne MSY zwyczajowo wyznaczone są za pomocą długoterminowych symulacji stochastycznych, w których nie są brane pod uwagę zmiany w wyżej wymienionych czynnikach, chociaż mogą mieć znaczący wpływ na ich wartości (Luzeńczyk 2017).

W artykule Horbowy i Luzeńczyk (2012) wyprowadzono wzory na połów i biomasę w stanie równowagi oraz zaprezentowano ich użycie w celu otrzymania  $F_{MSY}$  oraz ARPs. ARPs są analogiczne do tradycyjnych punktów referencyjnych bazujących na modelach YPR oraz SPR takich jak  $F_{0.1}$ ,  $F_{40\%}$ ,  $F_{50\%}$ , ale odnoszą się do całkowitego połowu i wielkości stada w stanie równowagi. Analizowano, które z ARPs mogą być stosowane jako konserwatywne przybliżenie  $F_{MSY}$ , ale nie doprowadzające do znaczącego obniżenia połowów. Testowane ARPs to:  $F_{0.1Y}$  - definiowane jako  $F$ , przy której wydajność połowowa równa jest 10% potencjalnej wydajności połowowej stada nieeksploatowanego w stanie równowagi oraz  $F_{40\%B}$  i  $F_{50\%B}$  definiowane jako śmiertelność połowowa, dla której biomasa równa jest odpowiednio 40 bądź 50% biomasy stada nieeksploatowanego. Zbadano czułość  $F_{MSY}$  i ARPs na zakres dostępnych danych stado-rekrutacja, wariację rekrutacji, różny stopień „stromości” (steepness) krzywej stado-rekrutacja („stromość” definiowana jest jako stosunek rekrutacji z nieeksploatowanego stada,  $R_0$ , do rekrutacji przy biomase wynoszącej 20% stada nieeksploatowanego), wariację oraz błąd oceny zasobów. Symulacje wykazały, że w większości przypadków  $F_{40\%B}$  i  $F_{50\%B}$  były najbardziej odporne na różne rodzaje zaburzeń zmiennych; jedynie w przypadku wybrania jakościowo błędnego modelu stado-rekrutacja,  $F_{MSY}$  okazało się lepsze. Rekomendowana do zarządzania wg zasady MSY śmiertelność połowowa wynosi  $F_{40\%B}$  dla modelu stado-rekrutacja Beverton’a i Holt’a oraz  $F_{50\%B}$  dla modelu Ricker’a. Zastosowanie rekomendowanych śmiertelności połowowych dało połów maksymalnie 5-10% niższy niż połów osiągnięty przy zastosowaniu  $F_{MSY}$ . Zaprezentowana w pracy i przetestowana metoda może być stosowana do wyznaczania punktów referencyjnych koncepcji MSY dla stad, dla których istnieją dane dotyczące tempa wzrostu, śmiertelności

naturalnej, selektywności, dojrzałości płciowej, biomasy i rekrutacji (Horbowy i Luzeńczyk 2012). Metoda ta została użyta do wyznaczenia punktów referencyjnych koncepcji MSY dla stad ryb bałtyckich w trakcie spotkania: Benchmark Workshop on Baltic Multispecies Assessments.

W drugim artykule (Horbowy i Luzeńczyk 2016) zbadany został wpływ interakcji międzygatunkowych oraz zmian zagęszczenia stada na parametry maksymalnego zrównoważonego połowu tego stada. Opracowano i przetestowano metodę, która jest narzędziem pozwalającym na stosunkowo łatwe wyznaczanie punktów referencyjnych MSY, uwzględniającym zmiany masy osobniczej i śmiertelności naturalnej spowodowane zmianami zagęszczenia stada, które nie są brane pod uwagę w innych metodach. Badania przedstawione w tej pracy bazują na długoterminowych, deterministycznych i stochastycznych symulacjach biomasy stada i połowów, uwzględniających cztery opcje:

- masa osobnicza i śmiertelność naturalna są przyjęte jako wartości stałe (opcja W i M stałe)
- masa osobnicza jest zależna od zmian zagęszczenia stada, a śmiertelność naturalna przyjęta jest jako wartość stała (opcja tylko W zmienne)
- masa osobnicza przyjęta jest jako wartość stała, a śmiertelność naturalna (związana z presją drapieżniczą) jest zależna od zmian zagęszczenia stada (opcja tylko M zmienne)
- masa osobnicza i śmiertelność naturalna są zależne od zmian zagęszczenia osobników w stadzie (opcja W i M zmienne)

Wyniki analizy wskazują, że oszacowane parametry MSY (takie jak MSY i  $F_{MSY}$ ) oraz biomasa w stanie równowagi różnią się znacząco pomiędzy podejściem, w którym masa osobnicza i śmiertelność naturalna szprota zmienia się (ze względu na zmiany zagęszczenia stada), a podejściem zakładającym stałe wartości. Analiza wykazała, że parametry koncepcji MSY otrzymane z modelu biorącego pod uwagę zmiany masy osobniczej szprota spowodowane zmianami zagęszczenia stada mogły być dwa razy wyższe niż te otrzymane z opcji, gdy W było stałe. Nieuwzględnienie efektu zmian średniej masy osobniczej zależnych od zagęszczenia stada, tam gdzie występuje, może więc doprowadzić do nieuzasadnionego ograniczenia rybołówstwa. Bardziej niebezpiecznym zjawiskiem jest pominięcie zmian w śmiertelności naturalnej zależnej od zagęszczenia stada drapieżnika i ofiary. Może przyczynić się to do przeszacowania wartości  $F_{MSY}$  i spowodować przełowienie stada (Horbowy i Luzeńczyk 2016).

W trzecim artykule zbadany został wpływ czynników biologicznych, czynników związanych z rybołówstwem i środowiskowych na biologiczne punkty referencyjne maksymalnego zrównoważonego połowu, takie jak: MSY,  $B_{MSY}$ ,  $F_{MSY}$  oraz APRs. Znajomość oddziaływania tych czynników na BRPs jest kluczowa dla zbudowania zarządzania zasobami rybnymi w oparciu o system wczesnego ostrzegania w przypadku zmian funkcjonowania ekosystemu - system zapobiegający przełowieniu ryb. Metoda opracowana w pierwszym artykule (Horbowy i Luzeńczyk 2012) została wykorzystana do wyznaczenia BRPs dla trzech największych stad na Bałtyku: stada dorsza występującego w podobszarach 24-32, śledzia centralnego Bałtyku występującego w podobszarach 25-29 i 32 z wyłączeniem Zatoki Ryskiej oraz stada szprota występującego na obszarze całego Bałtyku. Sprawdzone czułość BRPs na dane wejściowe do modelu, zmiany środowiska, czynników biologicznych i związanych z rybołówstwem. Danymi wejściowymi do modelu były: udział ryb dojrzałych, masa osobnicza, śmiertelność naturalna, selektywność w poszczególnych grupach wieku, „stromość” krzywej stado-rekrutacja ( $h$ ). Wyniki analizy czułości BRPs pokazują, że wzrost udziału ryb dojrzałych oraz wzrost masy osobniczej w grupach wieku prowadzi do wzrostu BRPs. Odwrotny efekt można zaobserwować w przypadku śmiertelności naturalnej (efekt bardziej widoczny w przypadku modelu stado-rekrutacja Ricker'a) oraz selektywności. Wzrost „stromości” krzywej stado-rekrutacja prowadzi natomiast do wzrostu MSY,  $F_{MSY}$

i innych punktów referencyjnych dla śmiertelności połowowej oraz do spadku wartości  $B_{MSY}$ . Następnie korzystając z wyników uzyskanych w analizie czułości BRPs na dane wejściowe do modelu, zinterpretowano wyniki BRPs dla różnych stad i różnych okresów. Dane wejściowe każdego ze stad podzielono na okres przed i po znaczącej zmianie funkcjonowania ekosystemu. Okres przed zasadniczą zmianą funkcjonowania ekosystemu charakteryzował się większą masą osobniczą wszystkich badanych gatunków i wyższą śmiertelnością naturalną w przypadku szprota i śledzia ( $M$  dla dorsza zakładana jest jako stała). Jednak czynnikiem, który najbardziej zmieniał się w zależności od wybranego okresu i najprawdopodobniej miał największy wpływ na BRPs była „stromość” krzywej stado-rekrutacja. Dodatkowo użyto uogólnionych modeli liniowych do przeprowadzenia podziału danych na różne pod względem czynników biologicznych ( $W$ ,  $Mat$ ,  $M$ ) lub czynników związanych z rybołówstwem ( $Sel$ ) okresy. BRPs zmieniały się nawet pod wpływem wykluczenia lub włączenia do analizy danych z zaledwie kilku lat. Pokazuje to jak ważne jest właściwe wybranie zakresu lat, z których pochodzą dane wejściowe i uwzględnienie zmian zachodzących zarówno w środowisku, jak i w parametrach biologicznych czy w specyfice rybołówstwa, ponieważ może mieć to decydujący wpływ na wartości BRPs, a w konsekwencji na racjonalne gospodarowanie zasobami.

Praca doktorska dotyczy tematyki związanej ze zrównoważonym zarządzaniem zasobami żywymi morza, udostępnia nowe metody, które mogą być stosowane w celu zapobiegania przelowieniu stad. Dotyczą one zarówno włączenia zależności stado-rekrutacja przy szacowaniu punktów referencyjnych  $MSY$ , powiązań międzygatunkowych związanych ze zmianami śmiertelności naturalnej, jak i tempa wzrostu osobniczego. Ponadto praca uwzględnia ekosystemowe podejście do eksploatacji ryb.

**Horbowy J., Luzeńczyk A.** 2012. The estimation and robustness of  $FMSY$  and alternative fishing mortality reference points associated with high long-term yield. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **69** (9): 1468–1480. DOI: 10.1139/F2012-070

**Horbowy J., Luzeńczyk A.** 2016. Effects of multispecies and density dependent factors on  $MSY$  reference points: Example of the Baltic Sea sprat. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. DOI: 10.1139/cjfas-2016-0220

**Luzeńczyk, A.** 2017. Change in biological reference points under different biological, fishery, and environmental factors. *Acta Ichthyologica Et Piscatoria* 47(1):41-51. DOI: 10.3750/AIEP/02111