БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО ОКЕАНОЛОГИЯ „ПРОФ. ФРИТЬОФ НАНСЕН“

инж. Йордан Раев Раев

ТЕХНОЛОГИЧНИ РЕШЕНИЯ ЗА НАМАЛЯВАНЕ НА ИЗХВЪРЛЯНИЯТА (DISCARDS) В РИБАРСТВОТО

АВТОРЕФЕРАТ

на

ДИСЕРТАЦИЯ

за придобиване на образователната и научна степен

“Доктор“

По област на висше образование:	4. Природни науки, математика и информатика
Професионално направление:	4.3 Биологически науки
Докторска програма:	„Екология и опазване на екосистемите“
Научно направление:	„Устойчива експлоатация и опазване на живи морски организми“

Научен консултант:	Доц. д-р инж. Ивелина Златева	ИО – БАН
Научни ръководители:	Доц. д-р Виолин Райков	ИО – БАН
	Проф. д-р инж. Атанас Палазов	ИО – БАН

Варна, 2026

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на разширено заседание на секция „Биология и екология на морето“ при Институт по океанология - БАН, състояло се на 15 Юли 2026 г.

Дисертационният труд е разработен в обем от 156 страници, от които 111 страници основен текст, 22 страници използвана литература и 23 страници приложения; съдържа 30 фигури, 25 таблици и 6 приложения. Списъкът на цитираната литература включва 218 заглавия, от които 2 на кирилица, 201 на латиница и 15 Интернет източника.

Дисертационният труд е подготвен чрез задочна докторантура към Институт по океанология – БАН.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 06.11.2026 г. от 11.30 часа в заседателната зала на Института по океанология при БАН на ул. "Първи Май” № 40 на открито заседание на Научно жури в състав:

Проф. д-р Петя Павлова Иванова (ИО, БАН)

Проф. д-р Елиза Петрова Узунова (СУ „Св. Климент охридски“, София)

Проф. д-р Снежанка Петрова Мончева – пенсионер (ИО, БАН)

Доц. д-р инж. Петър Георгиев Георгиев (ТУ, Варна)

Доц. д-р Валентина Георгиева Дончева(ИО, БАН)

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в библиотеката на Института по океанология „Проф. Фритьоф Нансен“, Варна, ул. „Първи май“ № 40.

УВОД

Република България, като черноморска държава, е пряко ангажирана с устойчивото управление на живите морски ресурси. Българската акватория на Черно море представлява чувствителна морска екосистема, подложена на въздействието на антропогенен натиск, климатични промени и интензивна експлоатация на рибните ресурси. Това определя необходимостта от прилагане на ефективни мерки за ограничаване на отрицателното въздействие на риболова върху морските екосистеми.

Сред основните проблеми на съвременното рибарство са приуловът и изхвърлянията на нежелан улов, които водят до допълнителна риболовна смъртност и оказват неблагоприятно влияние върху състоянието на рибните запаси. Особено изразен е този проблем при тралния риболов, когато недостатъчната селективност на използваните уреди води до улавяне на маломерни индивиди и нецелеви видове.

Повишаването на селективността на риболовните уреди е един от основните подходи за ограничаване на нежелания улов и за намаляване на въздействието върху експлоатираните популации. Селективността позволява задържане предимно на целевите размерни класове, като същевременно ограничава улова на незрели и нецелеви организми. Поради това тя е сред водещите инструменти за устойчиво управление на рибарството и за изпълнение на съвременните изисквания на европейската политика в областта на рибарството.

В българските води на Черно море важен стопански интерес представляват видовете *Mullus barbatus* (Linnaeus, 1758) (барбуня) *и Merlangius merlangus* (Linnaeus, 1758) (меджид). Въпреки тяхното икономическо значение, експерименталните изследвания върху селективността на използваните трални уреди в българската акватория са ограничени, което затруднява разработването на научнообосновани технически решения за намаляване на приулова и изхвърлянията.

Настоящият дисертационен труд е посветен на изследване на възможностите за ограничаване на изхвърлянията чрез повишаване на селективността на конвенционален трал, използван за улов на дънни и придънни видове в българската акватория на Черно море. Изследването се основава на експерименти в реални условия на риболов, анализ на размерната структура на улова и прилагане на съвременни статистически модели за оценка на селективните характеристики на риболовния уред.

Актуалността на разработката се определя от необходимостта от намаляване на нежелания улов, повишаване на устойчивостта на риболовната дейност и преодоляване на недостига на научни данни за селективността на тралните уреди в българското Черноморие. Научната и практическата значимост на изследването се изразява в създаването на експериментално обоснована основа за оптимизиране на конструкцията на тралните уреди и подпомагане на устойчивото управление на живите морски ресурси.

ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР

Литературният обзор показва, че селективността на риболовните уреди е утвърден инструмент за намаляване на приулова и изхвърлянията и за устойчиво управление на рибните ресурси. Международните изследвания доказват, че повишаването на селективността намалява риболовната смъртност на маломерни и нецелеви организми, подобрява състоянието на запасите и подпомага постигането на устойчив риболов (Cook, 2003; Fauconnet, 2024; Broadhurst et al., 2006; Aranda et al., 2019).

Черно море се характеризира със смесен риболов, висока експлоатация на биологичните ресурси и уязвими рибни запаси. Публикуваните изследвания показват, че използваните трални уреди често не осигуряват необходимата селективност, което води до значителен приулов и изхвърляния на млади и нецелеви видове (Lleonart, 2005; Tsikliras et al., 2015; Raykov et al., 2021). В същото време експерименталните изследвания, насочени към оптимизиране на селективността на риболовните уреди в Черно море, остават ограничени.

За българската акватория на Черно море наличните научни публикации са малко и предимно фрагментарни. Въпреки прилагането на европейските регламенти относно

техническите мерки, липсват достатъчно експериментални данни за селективността на конвенционалните трални уреди, използвани при улов на основните стопански видове, включително *M.barbatus* (барбуня) и *M. merlangus* (меджид). Недостатъчни са и стандартизирани методики за оценка на селективността, както и практически препоръки за оптимизиране на конструкцията на риболовните уреди.

Анализът на литературните източници показва съществуването на съществена научна и приложна празнина, свързана с липсата на систематични експериментални изследвания върху селективността на тралните уреди в българската акватория на Черно море. Именно тази празнина определя необходимостта от настоящото изследване, насочено към оценка на селективните характеристики на конвенционален трал и разработване на научнообосновани решения за ограничаване на приулова и изхвърлянията.

ЦЕЛ, ЗАДАЧИ И НАУЧНА ХИПОТЕЗА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Основание за формулиране на целта и задачите

Анализът на научната литература, нормативната рамка и съществуващите изследвания показва недостатъчна експериментална информация относно оперативната селективност на конвенционалните трални уреди, използвани в българската акватория на Черно море. Липсват научнообосновани данни за влиянието на конструктивните характеристики на коденда върху селективността при улов на основните стопански видове – *M. barbatus* и *M. merlangus*, което обуславя необходимостта от настоящото изследване.

Обект на изследването

Обект на изследването са конвенционалните трални риболовни уреди, използвани при промишления улов на дънни и придънни риби в българската акватория на Черно море.

Предмет на изследването

Предмет на изследването е оперативната селективност на тралните уреди при улов на *M. barbatus* и *M. merlangus* в зависимост от конструктивните характеристики на коденда и експлоатационните параметри на риболовната операция.

Научна хипотеза

Предполага се, че конструктивните характеристики на коденда, включително размерът на окото на мрежата и механичните свойства на мреженото влакно, оказват статистически значимо влияние върху оперативната селективност на тралните уреди. Оптимизирането на тези параметри ще повиши освобождаването на маломерните индивиди, без съществено да намали ефективността на улова на целевите размерни класове.

Цел на дисертационния труд

Да се оцени оперативната селективност на конвенционалните трални риболовни уреди при улов на *M. barbatus* и *M. merlangus* в българската акватория на Черно море и въз основа на експериментални данни и статистически анализ да се разработят научнообосновани препоръки за повишаване на селективността и ограничаване на нежелания улов.

Задачи на дисертационния труд

За постигане на поставената цел са формулирани следните задачи:

Задача 1: Да се установят конструктивните характеристики на конвенционалния трал, използван за улов на *M. barbatus* и *M. merlangus* в българския черноморски риболов, както и характеристиките на използваните мрежени материали.

Задача 2: Да се оцени оперативната селективност на конвенционалните трални риболовни уреди, използвани за улов на *M. barbatus* и *M. merlangus* в българския черноморски риболов, и да се определят основните параметри на тяхната селективност по отношение на задържането и освобождаването на различните размерни класове на целевите видове.

Задача 3: Да се разработи експериментален дизайн за сравнителна оценка на селективността при различни конструктивни характеристики на коденда, включително

различен размер на окото на мрежата и различна твърдост/еластичност на мреженото влакно.

Задача 4: Да се планират и проведат експериментални тралирания в реални условия на риболов с цел събиране на данни за размерната структура на задържаните и освободените екземпляри от *M. barbatus* и *M. merlangus*.

Задача 5: Да се изчислят и анализират параметрите на селективността, включително селективната крива, вероятността за задържане при различни дължини, минималните размери на задържане и съответните показатели за оперативна селективност.

Задача 6: Да се приложи статистическо моделиране за оценка на влиянието на конструктивните характеристики на коденда и експлоатационните параметри върху селективността на изследваните риболовни уреди.

Задача 7: Да се сравнят резултатите от различните конструктивни варианти на конвенционалния трал с цел идентифициране на конструктивните характеристики, които оказват най-съществено влияние върху освобождаването на маломерни индивиди и намаляването на нежелания улов.

Задача 8: Да се оцени съответствието между установените параметри на селективността и минималните референтни размери за опазване на изследваните видове, както и приложимостта на получените резултати в контекста на техническите мерки за устойчиво управление на рибарството.

Задача 9: Да се формулират научнообосновани препоръки за прилагане на тралните риболовни уреди с конкретни конструктивни и технически характеристики, насочени към повишаване на оперативната селективност, намаляване на изхвърлянията и ефективно прилагане на екосистемния подход при управлението на риболова на дънни и придънни видове в българските води на Черно море.

Методологична рамка

Изследването включва анализ на конструктивните характеристики на тралните уреди, експериментални тралирания в реални условия, измерване на улова, количествена оценка на селективността и статистическо моделиране на селективните характеристики на различните варианти на коденда.

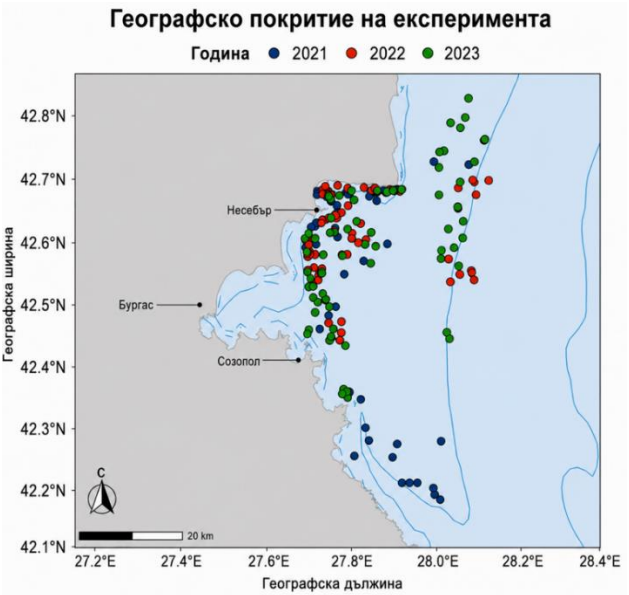
Очаквани резултати

Очаква се да бъде получена експериментално обоснована оценка на оперативната селективност на конвенционален трал при различни конструктивни варианти на коденда и да бъдат определени параметрите, оказващи най-съществено влияние върху освобождаването на маломерните риби. Практическата стойност на изследването се изразява в разработването на препоръки за повишаване на селективността, ограничаване на приулова и изхвърлянията и подпомагане на устойчивото управление на рибните ресурси в Черно море.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

МАТЕРИАЛ

За целите на настоящото изследване са събирани данни от реални риболовни операции. проведени в българската акватория на Черно море в периода 2021-2023 г., в географските граници между 42°10′ - 43°00′ северна ширина и приблизително 27°60′ - 28°20′ източна дължина в пределите на континенталния шелф по западното крайбрежие (Фигура 4.15).



Фигура 4.15. Пространствено географско разпределение на местата за пробовземане по години (2021–2023), извършени по време на реални риболовни операции в българската акватория на Черно море.

Батиметрично изследваният район попада в границите на българския континентален шелф, където се концентрира основната част от промишления трален риболов. Избраният дълбочинен диапазон (20-70 м) съответства на пространственото разпределение и хранителните миграции на *M. merlangus* и на дънно-асоциирания характер на *M. barbatus*. Събрани и анализирани общо 299 видово-специфични проби, включващи 185 проби от *M. barbatus* и 114 проби от *M. merlangus* – измерени са общо 36 241 индивида, от които 23 328 екземпляра от *M. barbatus* и 12 913 екземпляра от *M. merlangus*.

Настоящият анализ се основава на данни от реални тралирания и оценената селективност следва да се интерпретира като ефективна (оперативна) селективност на трала при реални условия на риболов. В този контекст параметрите на селективността (напр. $L_{50\%}$ и SR) не отразяват единствено геометрично обусловената вероятност за преминаване на рибите през окото на мрежата, а представляват интегриран резултат от взаимодействието между конструктивните характеристики на уреда и експлоатационните (оперативни) фактори, като натоварване на торбата на трала, скорост на тралиране и продължителност на тралиране.

Включването на експлоатационни фактори, свързани с механичните условия на тралене в комплексния модел позволява да се отчете влиянието на деформацията на мрежовото платно върху ефективното отваряне на окото, което обуславя реализираната задържаща способност на тралната торба (codend).

За всяко тралене са регистрирани начални и крайни географски координати (WGS 84), дълбочина на работа, продължителност на траленето, скорост на влачене, използван размер на окото на торбата (codend) и общо количество на улова (в кг). От всяко тралене са обработвани извадки от целевите видове. Индивидите са измервани по обща дължина (в см) и индивидуално тегло (в гр.), като броят на анализираните екземпляри е съобразен с препоръките в специализираната литература за надеждно оценяване на селективността на трални уреди (минимум 50 еземпляра, статистически приемлива извадка 80-100 екземпляра и препоръчителна големина на извадката 120-150 екземпляра) (Millar, 2010; Herrmann et al., 2016; Sistiaga et al., 2016; Jacques et al., 2025; Moussa et al., 2026).

Анализът разглежда общата селективност на траловете спрямо двата основни придънни вида – *M. merlangus* - черноморски меджид и *M. barbatus* - черноморска барбуня, поради което композицията на приуловът от други биологични видове не е предмет на разглеждане в настоящото изследване.

При експерименталните траления уловът има смесен характер. Наред с двата изследвани вида — черноморска барбуня (*M. barbatus*) и меджид (*M. merlangus*), е регистриран съпътстващ улов от други дънни, придънни и пелагични риби и безгръбначни организми.

При предварителното планиране на експеримента корабите, с които бяха събрани данните бяха избрани така, че да бъдат оперативни с характеристики на влакното и големината на окото на мрежата в обхвата на най-често използваните в риболова от интерес за настоящия дисертационен труд.

На етапа на планиране и дизайн на експеримента, за целите на обосновано събиране на данни за оценка на селективността, и прилагане на комплексния модел за оценка на оперативната селективност на използваните уреди в реални условия на риболов, бяха идентифицирани два типа параметри: константи и променливи в модела за селективност на тралната торба (Таблица 4.7. и Таблица 4.8.).

Таблица 4.7. Константи (Codend-specific parameters), валидни за всички уреди, използвани за събиране на данни за оценка на оперативната селективност

Параметър	Обозначение	Описание	Роля в модела
Номинален размер на окото на мрежата	(d), *mm*	Размер на окото на мрежата в торбата на трала	Определя базовата геометрия и селективността на уреда
Материал на мрежата в тралната торба	–	PA или PE	Определя базовия модул на еластичност
Диаметър на влакното	–, *mm*	Реален диаметър на нишката	Влияе върху деформацията
Ефективно напречно сечение	$(A(t))$ (*mm²*)	Напречно сечение на влакното на мрежата. Представлява носещата площ на нишката и определя устойчивостта й на опън. В модела се приема като конструктивна константа (ако не се отчита износване).	Участва в твърдостта на мрежовия елемент
Дял на Dyneema	(f)	Относителен дял на Dyneema нишки в носещата структура на мрежата на торбата. Отразява степента на подсилване на мрежата на торбата на трала	Увеличава структурната твърдост
Модул на еластичност (E) - Ефективен модул на еластичност	(E_{eff} (MPa))	Еквивалентен модул на еластичност на мрежовото платно на торбата на трала, отчитащ материала и евентуално Dyneema подсилване: $E_{eff} = (1 - f)E_b + fE_D$, където E_b е базисния модул на еластичност на материала, а E_Dе	Определя структурната твърдост на окото

Параметър	Обозначение	Описание	Роля в модела
		модул на еластичност при нишка тип Dyneema	

Таблица 4.8. Оперативни променливи - параметри, които се променят при всяка трална операция (събрани по време на извършване на тралиранията)

Параметър	Обозначение	Описание	Роля в модела
Скорост на тралиране	(v)	Скорост на тралиране (средна скорост на тралиране)	Определя хидродинамичното натоварване
Тегло на улова	(w)	Тегло на улова в торбата на трала към приключване на тралирането и изкарване на улова на борда на кораба	Увеличава натоварването на опън на мрежата на тралната торба
Продължителност на тралиране	(τ)	Време на тралиране	Определя времева деформация на торбата на трала
Опън в тралното въже	$T(v,w)$	Опън в тралното въже	Влияе върху затварянето на окото на мрежата
Инженерна деформация	ε_τ	Функция на времето на тралиране и характеристиките на материала	Отразява натрупаната деформация

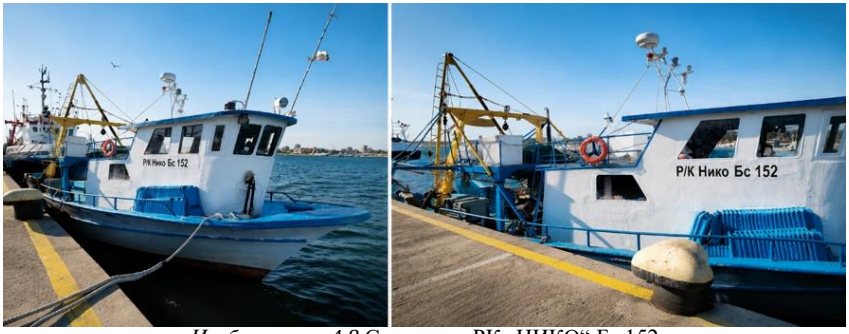
Характеристики на риболовни съдове, с които са събирани експерименталните данни:

1. РК „ИЩАР“ Нс 1182 (Изображение 4.7.), MMSI: 207833240; Позивна: LZH3324; Флаг: България [BG]; Тонаж: 22.66 GT; Обща дължина х широчина: 12.00 м × 5.8 м; Екипаж: 2; Мощност: 132.39 kW: CFR*: BGR002121182



Изображение 4.7 Снимка на РК „ИЩАР“

2. РК „НИКО“ Бс 152 (Изображение 4.8.), MMSI: 207822580; Позивна: LZH2258; Флаг: България [BG]; Тонаж: 20.37 GT; Обща дължина х широчина: 15.70 м × 5.2 м; Екипаж: 3; Мощност: 264.78 kW: CFR*: BGR002020152



Изображение 4.8 Снимка на РК „НИКО“ Бс 152

3. РК 5 Вн 8186 (Изображение 4.9.), MMSI: 207829480; Позивна: LZH2948; Флаг: България [BG]; Тонаж: 24.91 GT; Обща дължина х широчина: 14.90 м × 4.4 м; Екипаж: 2; Мощност: 220.00 kW: CFR*: BGR001028186



Изображение 4.9 Снимка на РК 5 Вн 8186

Общата конструкция на използваните риболовни уреди кореспондира с Фигура 4.6 - Подробна схема на конструкция на конвенционален трал за улов на дънни и придънни видове (*M. barbatus* и *M. merlangus*) – представена в Глава IV от настоящия дисертационен труд. Основните разлики между използваните уреди са големината на окото на мрежата, материала на влакното и произтичащите от това специфични характеристики на влакното при експлоатация.

Константи (Codend-specific parameters), за уредите, използвани за събиране на данни за оперативна оценка на селективността

Константите, за използваните по време на събирането на данните уреди, според техническата информация, подадена от операторите и по публикувана информация от производителите са представени в Таблица 4.9..

Таблица 4.9. Конструктивни характеристики и характеристики на материала на торбата на трала (codend), определящи ефективното отваряне на окото d_{eff} и селективността на трала.

Трална торба (Условно обозначение прието и в анализа на данните)	***Материал на тралната торба***	***Размер на окото на мрежата (mm)***	***Диаметър на влакното (mm)***	***(A(t)) (mm²)***	***Дял на Dyneema в нишката на тралната торба (f)***	***E_{eff} (MPa)***
Трал 1/ trawl 1 РК „ИЩАР“	PA	32	2.6	5.31	0	1 200
Трал 2/ trawl 2 РК 5 Вн 8186	PE + Dyneema	34	2.4	4.52	0.15	18 080

	(UHMWPE)					
Трал 3/ trawl 3 РК „НИКО“	PA	36	3	7.07	0	1 200

МЕТОДИ

Базисен математически модел за селективност

Кривата на селективността $S(l)$ или логистична крива (gear selection ogive) представя вероятността, с която екземпляр с дължина L, достигнал тралната торба, ще бъде задържан и няма да бъде пропуснат от мрежата. Описва се със следната формула (Sparre and Venema, 1998) приема стойности в интервала [0,1]:

$$S(l) = \frac{1}{1+exp(S1-S2*L)} = \frac{1}{1+exp(a-b*L)}, \quad (1)$$

където:

$S(l) = \frac{\text{брой на екземплярите с дължина } L \text{ в торбата на трала}}{\text{брой на екземплярите с дължина } L \text{ в торбата на трала и в покриващата торба}}$, а L е средната дължина, определена между два съседни размерни класа, а $S1$ и $S2$ са константи ($S1 = a$, а $S2 = b$), които определят формата и позицията на логистичната крива (Фиг. 1.4.2) (Paloheimo and Cadima, 1964; Kimura, 1978; Hoydal et al., 1982).

Комплексен модел за селективност

Комплексният математически модел представен и предложен в настоящата дисертация е разработен в съответствие с препоръките и методологията предложена в редица публикации и ръководства за оценка на селективността на риболовните уреди (Fryer, 1991; Wileman et al., 1996; Millar & Fryer, 1999; Priour, 2003; Sala et al., 2007; O'Neill and Hermann, 2007); Grimaldo et al., 2008; Frandsen et al., 2010; Herrmann et al., 2012; Herrmann et al., 2012; Sala et al., 2015; De la Prada & González, 2015; Herrmann et al., 2016; Morvan & Priour, 2016; Sala et al., 2016; Herrmann et al., 2017; Cuende et al., 2020; Brooks et al., 2022; Brinkhof et al., 2022) и служи за директно определяне на оперативната селективност по експериментални данни от риболовни операции.

Изходна точка е базисния математически модел - уравнение (1), който се усложнява чрез включването на конструктивни характеристики и експлоатационни фактори:

$$d_{eff}(x) = d * h^{k_1} * cos^{k_2}(\varphi) * \exp(-\eta_1 * \frac{T(v,w)}{E*A(t)} * \exp(-\eta_2 * \varepsilon_\tau(\tau; E, \eta)), \quad (22)$$

където:

d – номинален размер на окото на мрежата в мм;

$h \in (0,1]$ – коефициент на окачване (безразмерна величина), φ – ъгъл на отваряне на окото на мрежата (°);

k_1 и k_2 – експоненти – калибрирани за използвания уред (оценени аналитично чрез приближения);

$T(v,w)$ – напрежението на опън на тралното въже като функция на скоростта на тралиране (v) и теглото на улова (w) - $T(v,w) = T_0 + k_v * v^2 + k_w * w$;

E – модул на еластичност, $A(t)$ – ефективно напречно сечение на влакното мм^2;

η_1 – коефициент на чувствителност на еластична деформация;

$\varepsilon_\tau(\tau; E, \eta)$ – инженерна деформация на влакното, като функция на продължителността на тралиране, модула на еластичност и чуствителността към еластична деформация:

η_2 – безразмерен коефициент, отразяващ чувствителността на ефективното отваряне на окото на мрежата към времетраенето на тралирането;

Параметризация по отношение на $L_{50\%}$:

$$\ln(L_{50\%}) = \ln(SF) + \gamma_0 + \ln(d_{eff}) + (\gamma_d * Z_d) + (\gamma_t * t) + (\gamma_S * S) + (\gamma_d * \ln(d) * Z_d), \quad (23)$$

Където: γ са регресионни коефициенти;

Параметризация по отношение на SR:

$$\ln(SR) = \beta_0 + \left(\beta_d * \ln(d_{eff})\right) + (\beta_d * Z_d) + (\beta_t * t) + (\beta_S * S) + (\beta_d * \ln(d) * Z_d), \quad (24)$$

Където: β са регресионни коефициенти.

Уравнения (23) и (24) се заместват в базисния параметризиран модел на селективността (8), като се включват случайни ефекти за да се отрази вариацията между тралиранията:

$$\ln\left(L_{50\%_i}\right) = \ln(L_{50\%}(x_i) + u_i \text{ и } \ln(SR) = \ln(SR(x_i) + v_i; \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \end{bmatrix} \sim N(\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \Sigma), \quad (25)$$

където: u_i и v_i са случайни ефекти за i-тия трал.

Експериментални данни и статистическо моделиране за оценка на оперативната селективност.

Аналитичният подход е разработен в съответствие с комплексният модел (уравнение 2), при който селективността на риболовния уред се определя чрез ефективното отваряне на окото на мрежата $d_{eff}(x)$, дефинирано като функция от конструктивни и експлоатационни параметри.

Селективният процес се описва чрез параметрите $L_{50\%}$ - дължината, при която вероятността за задържане е 50%, и SR - диапазонът на селекция. В използвания емпиричен подход тези параметри не се оценяват директно чрез класическа логистична функция, а се извеждат индиректно чрез анализ на наблюдаваната размерна структура на задържания улов.

Използваният програмен скрипт представлява статистическа реализация на тази концептуална рамка, като неговото основно предназначения е, да оцени дали вариациите в размерно-честотното разпределение на задържания улов могат да бъдат обяснени чрез конструктивните и експлоатационните параметри.

Дефиниране на зависимата променлива

Анализът е структуриран на ниво комбинация „тралене × биологичен вид × размерен клас“, като зависимата променлива се дефинира като брой задържани индивиди:

Y_{isl} = брой задържани индивиди от вид s в размерен клас l при i-тото тралене

Статистически модел и етапи на анализа

В първия етап се изчисляват емпиричните размерно-честотни разпределения и съответните им кумулативни функции, от които се извличат квантилните показатели L_5, L_{25}, L_{50}, L_{75} и L_{95}.

Във втория етап се прилага обобщен адитивен модел (GAM) с отрицателно биномно разпределение (NB) за моделиране на броя задържани индивиди. Общата структура на модела се описва с:

$$\log(\mu_{isl}) = \alpha + \text{Gear}_i + f_{\text{Gear}}(L_l) + \text{Year}_i + b_i + \log(N_i) \quad (26)$$

където: μ_{isl} е очакван брой задържани индивиди, α – константа (intercept), Gear_i - ефект на трала, $f_{\text{Gear}}(L_l)$ е нелинейна гладка функция на дължината, специфична за типа уред, b_iе случаен ефект на ниво тралене (има за цел да моделира необяснените от модела вариации), Year_i – ефект на годината, който проверява дали има системна разлика в селективността в различните години на провеждане на експериментите, а $\log(N_i)$ е логаритъм от общия улов и има ролята на нормализиращ член за отчитане на интензитета на траленето.

За вида *M. merlangus* е приложен двукомпонентен (hurdle) модел, който разделя процеса на задържане на две части: вероятност за наличие на улов (биномиален компонент), и при наличие - брой задържани индивиди (отрицателно биномно разпределение). И в двата компонента е включен случаен ефект на ниво тралене.

Методологична обосновка на приложения модел

Изборът на приложения модел (обобщен адитивен модел с отрицателно биномно разпределение) е обусловен от необходимостта да се опише нелинейния характер на селективността по дължина/размерен клас, без предварително задаване на фиксирана функционална форма. Отрицателното биномно разпределение е използвано поради

наличието на свръхдисперсия в бройните данни (биологична хетерогенност, оперативни различия, видово-специфична селективност и наличие на много нулеви наблюдения).

Включването на случаен ефект на ниво тралене позволява да се отчете неизмерената вариабилност между отделните операции, което е съществено за правилната интерпретация на резултатите. При *M. merlangus* използването на двукомпонентен модел е продиктувано от наличието на значителен брой нулеви наблюдения, което изисква диференцирано моделиране на процеса на поява на улова.

Конструктивни параметри и ограничения при моделирането

Конструктивните характеристики на уредите са силно корелирани с фактора $Gear$, поради което тяхното едновременно включване в основния модел би довело до мултиколинеарност и грешни резултати за оценяваните параметри. Поради това в основния модел се използва факторът $Gear$ като обобщен индикатор за конструктивния профил, а влиянието на отделните параметри се оценява чрез отделни модели за чувствителност.

Връзка между L_{50} и $L_{50\%}$

Показателят L_{50}, извлечен от кумулативното разпределение на задържания улов, се използва като емпиричен аналог на теоретичния параметър $L_{50\%}$. При липса на данни за преминалите през мрежата индивиди, този подход се счита за адекватна апроксимация на селективния профил, като интерпретацията остава в рамките на оперативната селективност.

Анализ на чувствителността

Анализът на чувствителността е реализиран чрез включване на взаимодействия между дължината и експлоатационни променливи чрез тензорни гладки функции от тип $ti(L, X)$. За конструктивните параметри са използвани отделни модели без включване на фактора Gear, с цел избягване на колинеарност.

Предсказания и извличане на квантилни оценки

Моделните предсказания са генерирани върху гъста мрежа от дължини (обща дължина в см в рамките на диапазона на измерените дължини) при фиксирани референтни стойности на експлоатационните променливи и без включване на случайния ефект. Получените стойности са нормализирани до единична площ, след което от кумулативното разпределение са извлечени квантилните показатели.

Оценка на неопределеността

Неопределеността е оценена чрез bootstrap на ниво тралене, което позволява запазване на вътрешната зависимост на наблюденията и получаване на надеждни доверителни интервали за моделните оценки.

Сравнение на моделите и диагностична оценка

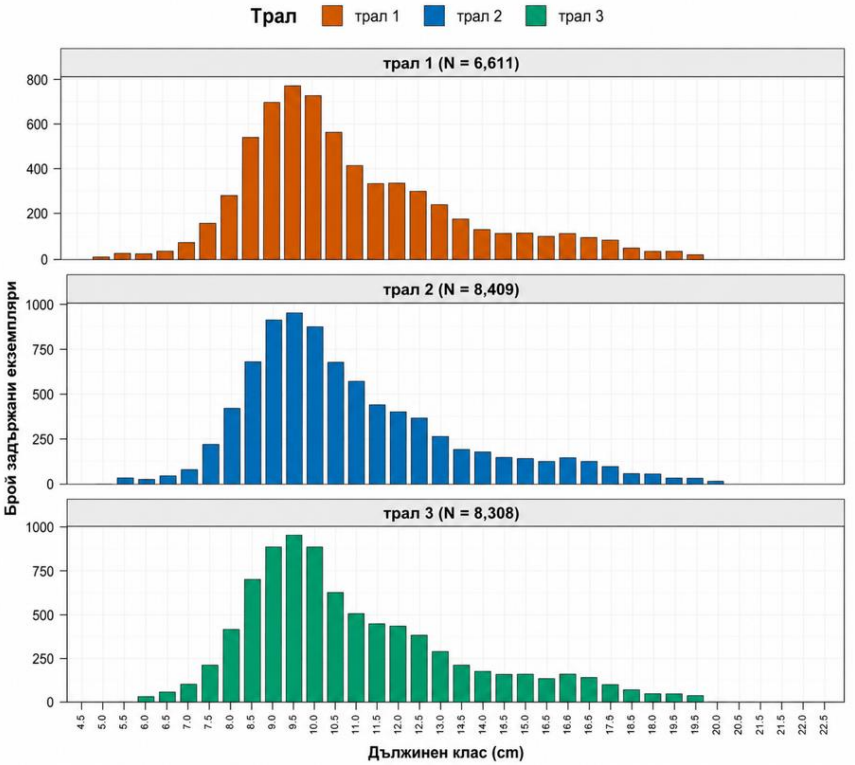
Сравнението между алтернативните модели спецификации се извършва чрез информационни критерии и оценка на качеството на напасване, включително AIC, BIC и, където е приложимо, likelihood ratio test. Диагностичната оценка включва проверка за свръхдисперсия, анализ на остатъците, оценка на стабилността на параметрите и проверка на влиянието на отделните траления върху моделните предсказания. Този подход позволява да се избегне свръхпараметризация и да се избере модел, който съчетава статистическа адекватност, биологична интерпретируемост и приложимост към реалните условия на риболов.

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

При *M. barbatus* (Фигура 5.1.) размерно-честотното разпределение е концентрирано основно в интервала 8–12 cm, с модален клас около 10 cm, като различията между трите конструктивни варианта на трала са незначителни. При *M. merlangus* (Фигура 5.2.) размерното разпределение обхваща по-широк диапазон (8–18 cm), с модален клас около 12 cm и слабо изразено изместване към по-големи размери при Трал 3.

Сравнителният анализ показва, че *M. merlangus* се характеризира с по-голяма размерна вариабилност на улова, докато при *M. barbatus* размерната структура е по-компактна. Установените различия съответстват на биологичните особености на двата вида и показват различна чувствителност към селективните характеристики на тралните уреди.

Получените резултати показват проявление на оперативна селективност, изразяващо се в ограничено задържане на най-дребните индивиди. Слабото участие на най-едрите размерни класове в улова се обяснява предимно с популационната структура на изследваните видове, а не със селективните характеристики на използваните тралове.



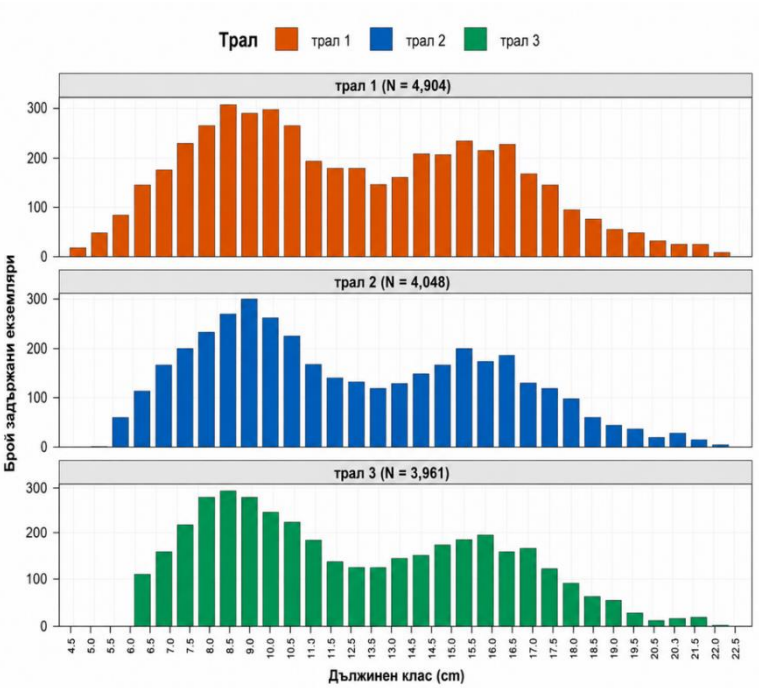
Фигура 5.1. Наблюдавани размерно-честотни разпределения в задържания улов от *M. barbatus* по модификации на трала (Трал 1, Трал 2, Трал 3) - отделни панели по траления.

Статистическа детерминираност на моделите и обяснена вариация

Обобщените адитивни модели показват висока степен на пригодност за описание на размерната структура на задържания улов при двата изследвани вида – *M. barbatus* и *M. merlangus*. Въпреки това между тях се установяват съществени различия по отношение на степента на обяснената вариация и сложността на моделирания селективен процес (Таблица 5.1.).

Таблица 5.1. Сравнителна оценка на статистическата пригодност на еднокомпонентния и двукомпонентния (hurdle) обобщен адитивен модел за двата изследвани вида.

Вид	Модел/ разпределение	Общ брой наблюдения (n)	Общ брой траления (m)	AIC (информационен критерий на Акаике)	Обяснена от модела вариация (%)	Коефициент на детерминираност Adj. R^2
M. barbatus	GAM (NB)/ (Negative Binomial)	6845	185	20112.85	**83.11**	0.8345
M. merlangus	Hurdle GAM (Binomial + NB)	3420	114	13034.67	**51.44**	0.5258

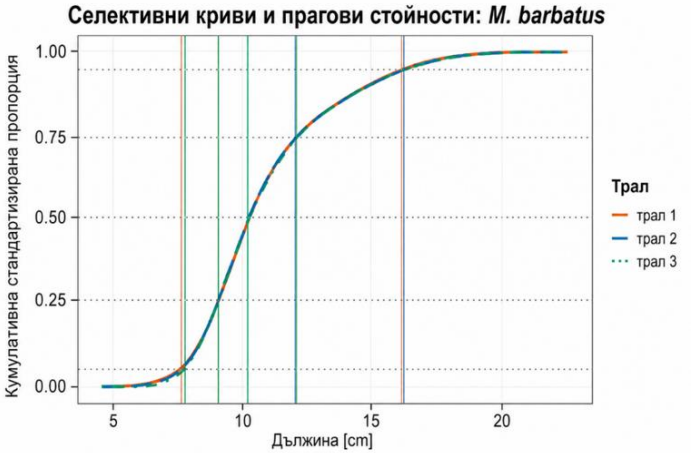


Фигура 5. 2. Наблюдавани размерно-честотни разпределения в задържания улов от *M. merlangus* по модификации на трала (Трал 1, Трал 2, Трал 3) - отделни панели по траления.

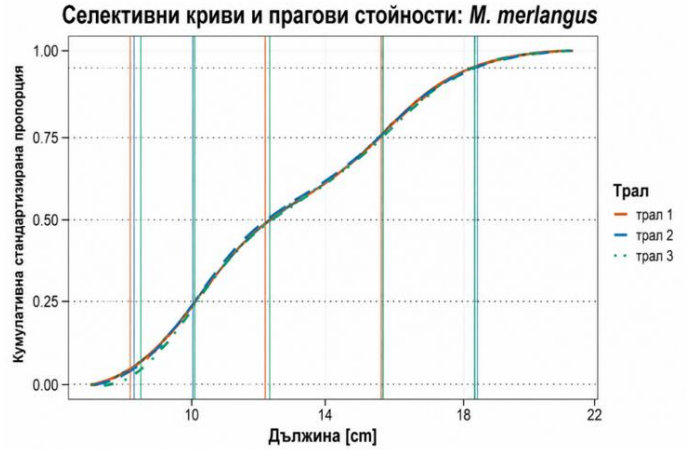
Моделът за *M. barbatus* обяснява 83,11% от вариацията в размерната структура на задържания улов, което показва много добра статистическа пригодност. При *M. merlangus* обяснената вариация е по-ниска поради по-високата хетерогенност между траленията и наличието на нулеви наблюдения, което обосновава използването на двукомпонентен (hurdle) модел.

Моделираните селективни криви (Фигура 5.3 и Фигура 5.4.) адекватно описват средната дължина на задържане и селективния диапазон. При *M. barbatus* кривите за трите конструктивни варианта практически се припокриват, което показва относително устойчив селективен процес. При *M. merlangus* те са по-плавни и с по-широк преходен диапазон, отразяващ съвместното влияние на конструктивните, експлоатационните и поведенческите фактори.

Резултатите потвърждават статистическата пригодност на моделите и позволяват биологично обоснована оценка на оперативната селективност при реални условия на трален риболов.



Фигура 5.3. Кумулативни селективни криви с прагови стойностиL_5, L_{25}, L_{50}, L_{75}и L_{95}за трите експериментални трала за *M. barbatus*

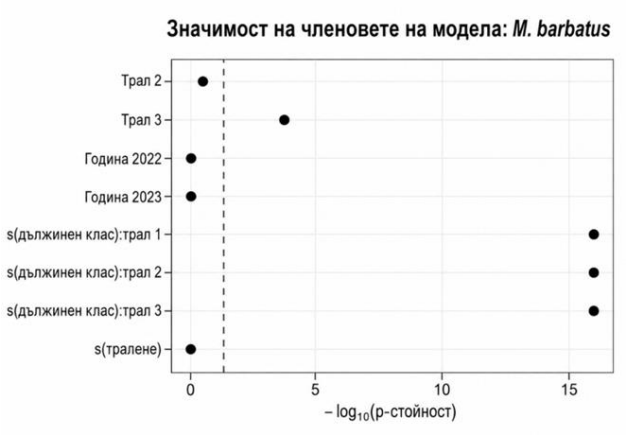


Фигура 5.4. Кумулативни селективни криви с прагови стойностиL_5, L_{25}, L_{50}, L_{75}и L_{95}за трите експериментални трала за *M. Merlangus*

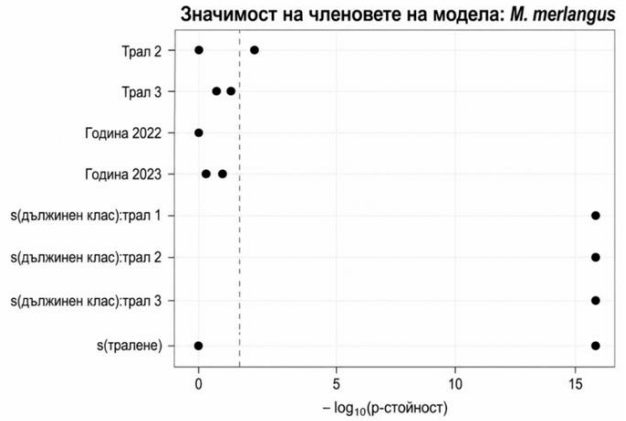
Статистическа значимост на моделираните ефекти

Параметрични ефекти

Резултатите от анализа на параметричните ефекти (Фигура 5.5. и Фигура 5.6.) показват видово специфично влияние на конструктивните характеристики на трала върху оперативната селективност.



Фигура 5.5. Статистическа значимост на ефектите в обобщения адитивен модел (GAM), описващ задържаната размерна структура в уловите от *M. Barbatus.* Пунктираната вертикална линия обозначава прага на статистическа значимост $p = 0{,}05$.



Фигура 5.6. Статистическа значимост на ефектите в обобщения адитивен модел (GAM),, описващ задържаната размерна структура в уловите от *M. merlangus.* Пунктираната вертикална линия обозначава прага на статистическа значимост $p = 0{,}05$.

При M. barbatus статистически значим ефект е установен единствено при Трал 3, при който се наблюдава намаляване на очаквания брой задържани индивиди спрямо референтния вариант, което свидетелства за по-висока оперативна селективност. Не е установено статистически значимо влияние на междугодишната вариабилност.

При *M. merlangus* конструктивните различия оказват влияние основно върху вероятността за задържане на индивидите, докато върху интензивността на улова не се установяват статистически значими различия. Аналогично, не е отчетен съществен ефект на междугодишната вариабилност.

Анализът на нелинейните ефекти (Таблица 5.3.) показва, че дължината на индивидите е основният фактор, определящ оперативната селективност на тралните уреди.

И при двата вида е установена силно статистически значима нелинейна зависимост между размера на рибите и вероятността за тяхното задържане.

Таблица 5.3. Статистическа значимост на нелинейните взаимодействия ($ti(Length, X)$) и вариацията между тралениятa

Вид	Модел/ Компонент на модела	Ефект	Вероятност p при ниво на значимост $\alpha = 0.05$	Статистическа Значимост	Интерпретация
M. barbatus	NB	s(Length):Gear	<0.001	Значим	Силно изразена нелинейна селективност по дължина
M. barbatus	NB	s(haul_id)	1	Не е значим	Липса на доказателство за значима вариация между тралениятa
M. merlangus	Presence	s(Length):Gear	<0.001	Значим	Силно изразена нелинейна зависимост
M. merlangus	Presence	s(haul_id)	<0.001	Значим	Значителен ефект на вариацията между тралениятa (при присъствие на вида)
M. merlangus	Positive count	s(Length):Gear	<0.001	Значим	Силен нелинеен ефект на интезивността на тралениятa
M. merlangus	Positive count	s(haul_id)	1	Не е значим	Липса на вариация между тралениятa при улов

Съществени различия се наблюдават по отношение на вариацията между отделните траления. При *M. barbatus* тя не оказва съществено влияние върху селективността, докато при *M. merlangus* влияе върху вероятността за задържане, което потвърждава по-високата чувствителност на вида към условията на тралене и обосновава приложението на двукомпонентния (hurdle) модел.

Получените резултати потвърждават, че оперативната селективност е видово специфичен процес, като при *M. barbatus* се определя предимно от конструктивните характеристики на трала, а при Merlangius merlangus – от тяхното взаимодействие с условията на тралене.

Анализ на чувствителността

Анализът на чувствителността (Таблица 5.4.) оценява влиянието на основните експлоатационни фактори върху оперативната селективност на използваните трални уреди. Получените резултати показват ясно разграничение между въздействието на оперативните параметри върху общото количество на задържания улов и върху размерно-зависимия селективен процес.

Основните ефекти, описани чрез гладките функции $s(X)$, не са статистически значими за нито една от анализираните променливи при двата изследвани вида. Това показва, че фактори като продължителност на траленето, размер на улова и напрежение в мрежата не оказват съществено влияние върху общия брой задържани индивиди.

За разлика от това, взаимодействията $ti(\text{Length}, X)$ оказват влияние върху селективността по дължина, т.е. върху вероятността за задържане на отделните размерни класове. Получените резултати показват, че чувствителността на селективния процес към оперативните фактори е ясно изразена видово специфична.

Таблица 5.4. Влияние на оперативните фактори върху селективността (анализ на чувствителността)

Биологичен вид	**Променлива**	**Основен ефект ($s(X)$)**	**Взаимодействие ($ti(L, X)$)**	**Вероятност p при ниво на значимост $\alpha = 0.05$**	**Интерпретация**
M. barbatus	Всички	не е значим	Не е значим	>0.1	Няма доказано влияние върху селективността
M. merlangus	Година	не е значим	Слабо	~0.07	Слаб ефект върху селективния профил
M. merlangus	Количество на улова	не е значим	Слабо	~0.05	Слабо (гранично) влияние върху селективността
M. merlangus	Напрежение на мрежата	не е значим	Значим	0.026	Значим ефект върху селективността

Съгласно получените резултати, при *M. barbatus* оперативната селективност представлява устойчив процес, който практически не се влияе от анализираните експлоатационни фактори. За разлика от това, при *M. merlangus* механичните характеристики на траленето, и по-специално напрежението в мрежата, оказват статистически значимо влияние върху селективния процес. Това подчертава необходимостта при оценката на селективността на този вид наред с конструктивните характеристики на трала да бъдат отчитани и основните експлоатационни параметри на риболовната операция.

Размерна структура на задържания улов

Анализът на размерната структура на задържания улов (Таблица 7) показва ясно изразени различия между двата изследвани вида. При *M. barbatus* медианната дължина е около 10 cm, а селективният диапазон е приблизително 3 cm, което характеризира компактна размерна структура и относително стабилна селективност. При *M. merlangus* медианната дължина е около 12 cm, а селективният диапазон достига приблизително 5.4 cm, което показва по-широко размерно разпределение и по-висока вариабилност на селективния процес.

Получените резултати (Таблица 5.5.) потвърждават по-стабилната оперативна селективност при *M. barbatus* и по-сложния, по-вариабилен селективен процес при *M. Merlangus.*

Таблица 5.5. Наблюдавани квантилни характеристики на задържания улов

Биологичен вид	***Трал***	L_5 ***(cm)***	L_{25} ***(cm)***	L_{50} ***(cm)***	L_{75} ***(cm)***	***SR*** $(L_{75} - L_{25})$ ***(cm)***
M. barbatus	1	7.43	8.86	9.99	12	3.14
M. barbatus	2	7.50	8.84	9.98	11.9	3.06
M. barbatus	3	7.58	8.86	9.98	12	3.14
M. merlangus	1	7.90	9.87	12.1	15.3	5.43
M. merlangus	2	8.07	9.90	11.9	15.3	5.40
M. merlangus	3	8.28	9.92	12.1	15.4	5.48

Валидиране на моделните оценки

Валидирането на моделните оценки е извършено чрез сравнение между наблюдаваните и моделираните стойности на медианната дължина и на основните квантилни характеристики на размерното разпределение.

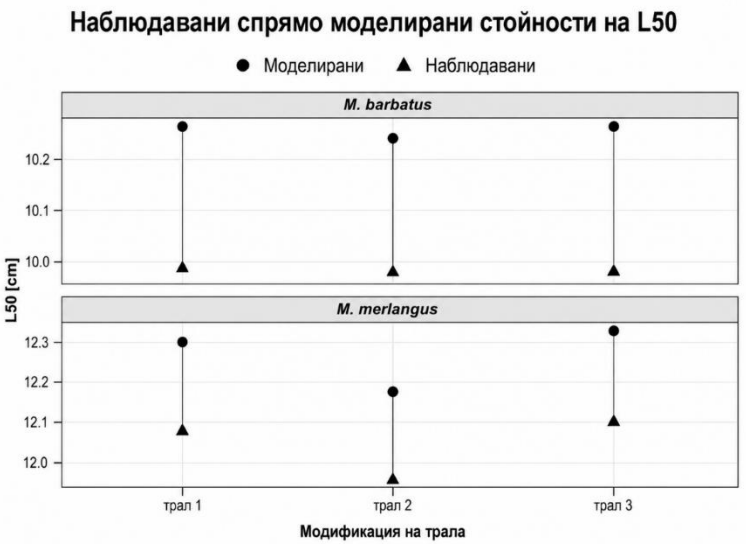
Разликите между наблюдаваните и моделираните стойности на L_{50} са под 0.3 см за всички комбинации от вид и трал (Таблица 5.6., Фигура 5.7.), което показва много висока точност на моделните оценки и добра възпроизводимост на централната тенденция на размерно-честотните разпределения.

Таблица 5.6. Сравнение между наблюдавани и моделирани стойности L_{50}

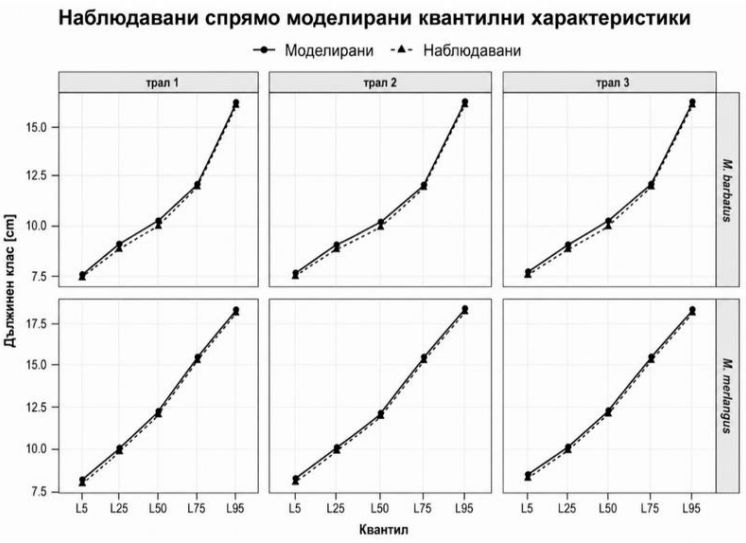
Биологичен вид	**Трал**	**Наблюдавана** L_{50} **(cm)**	**Моделирана** L_{50} **(cm)**	**Разлика (cm)**
M. barbatus	1	9.99	10.3	0.29
M. barbatus	2	9.98	10.2	0.27
M. barbatus	3	9.98	10.3	0.3
M. merlangus	1	12.1	12.3	0.22
M. merlangus	2	11.9	12.2	0.23
M. merlangus	3	12.1	12.3	0.24

Графичната валидация е извършена чрез сравнение между наблюдаваните и моделираните квантилни характеристики ($L_5, L_{25}, L_{50}, L_{75}$ и L_{95}) за всяка комбинация от биологичен вид и конструктивен вариант на трала (Фигура 5.8.).

Резултатите показват много висока степен на съответствие между наблюдаваните и моделираните стойности. Практическото припокриване на квантилните криви показва, че използваните модели успешно възпроизвеждат не само медианната дължина (L_{50}), но и цялостната форма на размерното разпределение на задържания улов.



Фигура 5.7. Сравнение между наблюдаваните и моделираните стойности на L_{50} за трите експериментални трала при двата изследвани вида. Отсечките показват разликата между моделираните и наблюдаваните стойности на L_{50} при трите вида трал. Разликите между наблюдаваните и моделираните стойности на L_{50} са под 0.3 см за всички комбинации от вид и трал.



Фигура 5.8. Наблюдавани и моделирани квантилни характеристики (L_5, L_{25}, L_{50}, L_{75} и L_{95}) за всяка комбинация от биологичен вид и модификация на трал.

Дискусия

Получените резултати показват, че оперативната селективност на конвенционалните тралните уреди има ясно изразен видовоспецифичен характер. Въпреки сходните условия на улов, при *M. barbatus* и *M. merlangus* се установяват съществени различия в размерната структура на улова и механизмите, определящи вероятността за задържане.

При *M. barbatus* оперативната селективност се характеризира с относителна устойчивост и се определя предимно от конструктивните характеристики на коденда и морфологичните особености на вида. При *M. merlangus* селективният процес е по-сложен и се влияе както от конструктивните характеристики на трала, така и от експлоатационните условия и поведенческите особености на вида.

Установената нелинейна зависимост между дължината на индивидите и вероятността за задържането им потвърждава, че селективността е размерно-зависим процес, определян от взаимодействието между морфометричните характеристики на рибите и конструктивните параметри на коденда.

Валидирането на моделите показва добро съответствие между наблюдаваните и прогнозираните параметри на селективността, което потвърждава тяхната приложимост за количествена оценка на оперативната селективност при реални условия на трален риболов.

Получените резултати са в съответствие със съвременните научни изследвания и допринасят с нови данни за оперативната селективност на тралните уреди в българската акватория на Черно море, които могат да бъдат използвани при разработването на технически мерки за устойчиво управление на рибните ресурси.

НАУЧНООБОСНОВАНИ ПРЕПОРЪКИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА ОПЕРАТИВНАТА СЕЛЕКТИВНОСТ И УСТОЙЧИВОТО УПРАВЛЕНИЕ НА РИБОЛОВА НА ДЪННИ И ПРИДЪННИ ВИДОВЕ В БЪЛГАРСКИТЕ ВОДИ НА ЧЕРНО МОРЕ

Интерпретация на резултатите от оценката на оперативната селективност в контекста на популационната динамика

Оценката на оперативната селективност е от съществено значение за устойчивото управление на рибните ресурси, тъй като определя степента, в която полово незрелите индивиди участват в улова. Един от основните показатели за биологичната ефективност на селективността е съотношението между дължината на задържане при 50% вероятност (L_{50}) и дължината при достигане на полова зрялост (L_{m50}).

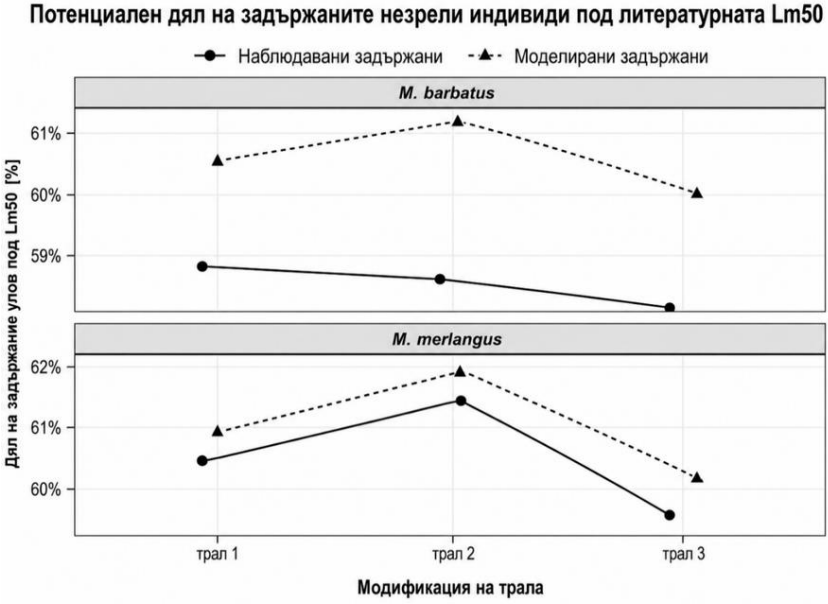
Сравнението между моделираните стойности на L_{50} и референтните стойности за L_{m50} показват, че при всички анализирани варианти на тралните уреди L_{50} остава под биологичната референтна стойност и за двата изследвани вида (Таблица 6.1.). Това означава, че значителна част от задържаните индивиди не са достигнали полова зрялост към момента на улавяне и съществува реална вероятност риболовната смъртност да бъде концентрирана върху възрастови групи, които все още не участват ефективно във възпроизводството на популацията.

Таблица 6.1 Сравнение между докладваните в литературата стойности за Lm_{50} и оценените стойности за L_{50}

Биологичен вид	Трал	Референтна стойност за Lm_{50} (cm)	Оценена / моделирана стойност за L_{50} (cm)	Разлика между литературната и моделираната $L_{m50} - L_{50}$ (cm)
M. barbatus	Трал 1	10.9	10.2	-0.7
M. barbatus	Трал 2	10.9	10.3	-0.6
M. barbatus	Трал 3	10.9	10.3	-0.6

Биологичен вид	**Трал**	**Референтна стойност за Lm_{50} (cm)**	**Оценена / моделирана стойност за L_{50} (cm)**	**Разлика между литературната и моделираната $L_{m50} - L_{50}$ (cm)**
M. merlangus	Трал 1	13.9	12.3	-1.6
M. merlangus	Трал 2	13.9	12.2	-1.7
M. merlangus	Трал 3	13.9	12.3	-1.6

Получените резултати се потвърждават и от анализа на относителния дял на индивидите с обща дължина под L_{m50} в структурата на задържания улов. Както наблюдаваните, така и моделираните разпределения показват устойчиво високи стойности на този показател (Фигура 6.2.), което свидетелства за недостатъчна селективност на използваните тралните конструкции по отношение на полово незрелите индивиди..



Фигура. 6.2. Сравнение между наблюдавания и моделирания дял на задържаните в композицията на уловите индивиди с обща дължина под референтните L_{m50}. Диагностичен показател само на задържания улов; стойностите не са преки оценки на изхвърлянията.

При *M. barbatus* делът на задържаните индивиди под L_{m50} варира между 58.1% и 58.8% според наблюдаваните данни и между 60.1% и 61.1% според моделните оценки, в зависимост от използваната конструкция на тралната торба (Таблица 6.2, Фигура 6.3). Най-високи стойности са установени при Трал 2, при който моделираният дял на задържаните полово незрели индивиди достига приблизително 61.1%. Макар различията между отделните варианти да са сравнително малки, всички изследвани конструкции показват висока вероятност за задържане на индивиди, които не са достигнали полова зрялост.

При *M. merlangus* се наблюдава сходна, но още по-неблагоприятна тенденция. Делът на задържаните индивиди под L_{m50} варира между 59.3% и 60.4% според наблюдаваните данни и между 60.7% и 62.0% според моделните оценки (Таблица 6.2.),

което съответства на резултатите от аналогични изследвания в Черно море (Moussa et al., 2026). Независимо от използването на конструкция с по-висока структурна устойчивост на мреженото платно (PE + Dyneema), делът на задържаните полово незрели индивиди остава висок. Установените високи стойности на задържане на индивиди под L_{m50} следва да бъдат разглеждани не само като показател за интензивен риболовен натиск върху ранните възрастови групи, но и като индикатор за потенциално високи нива на изхвърляния (discards) и свързаната с тях допълнителна риболовна смъртност. При тралния риболов значителна част от улова, формирана от маломерни или икономически нежелани екземпляри, се връща обратно в морската среда след сортиране на борда. Независимо че тези индивиди не участват в реализирания улов, в повечето случаи преживяемостта им е ниска поради механични увреждания, физиологичен стрес, компресия, хипоксия и нарушения в осморегулацията, настъпили по време на тралирането и обработката на улова (Davis, 2002; Suuronen, 2005; Broadhurst et al., 2006; Uhlmann et al., 2006).

Таблица 6.2 Наблюдаван и моделиран дял в (%) на задържаните в улова индивиди с обща дължина под литературно установената при 50% полова зрялост (L_{m50}) за *M. barbatus* и *Merlangius merlangus* за различните модификации на изследваните трални уреди.

Биологичен вид	**Трал**	**Наблюдаван дял на задържани в улова индивиди под Lm_{50} (%)**	**Моделиран дял на задържани в улова индивиди под Lm_{50} (%)**
M. barbatus	Трал 1	58.8	60.7
M. barbatus	Трал 2	58.6	61.1
M. barbatus	Трал 3	58.1	60.1
M. merlangus	Трал 1	59.8	61
M. merlangus	Трал 2	60.4	62
M. merlangus	Трал 3	59.3	60.4

Поради това изхвърлянията се разглеждат като съществен компонент на общата риболовна смъртност (Forrest et al., 2001; ICES, 2005; Kelleher, 2005; Agnew et al., 2009) и като един от най-важните индикатори за недостатъчна оперативна селективност. При висок дял на задържани полово незрели индивиди вероятността за последващо изхвърляне е значителна, особено при размерни класове с ниска търговска стойност. Това води до двойно отрицателно въздействие върху популациите – увеличаване на риболовната смъртност върху индивиди, които не са участвали в размножаването, и ограничаване на бъдещото попълване на запасите.

Получените резултати показват, че оценката на оперативната селективност следва да се разглежда не само като характеристика на размерната структура на улова, а като интегрален показател за потенциалната риболовна смъртност, въздействието върху попълването на запасите и ефективността на мерките за устойчиво управление.

Наблюдаваните зависимости следва да бъдат интерпретирани и в контекста на биологичните особености на двата вида. *M. barbatus* се характеризира с относително бърз растеж, ранно достигане на полова зрялост и сравнително кратък жизнен цикъл (Froese, 2005), което до известна степен повишава устойчивостта на популацията към умерен риболовен натиск върху по-младите възрастови групи. Независимо от това продължителното отстраняване на голям брой полово незрели индивиди може да доведе до намаляване на ефективната репродуктивна биомаса и ограничаване на попълването (Daskalov, 2002), особено при неблагоприятни екологични условия.

При *M. merlangus* потенциалното въздействие върху популационната динамика е още по-съществено. Видът достига полова зрялост при по-големи размери и се характеризира с по-широк размерен диапазон в структурата на улова (Volodin, 1996; İşmen, 2002; Bilgin et al., 2012). Този резултат придобива особено значение предвид оценките, че запасът на вида в Черно море се намира в състояние на свръхексплоатация (FAO, 2023).

Анализ на действащата нормативна рамка и необходимост от актуализиране на техническите мерки

Съгласно Приложение № 2 към чл. 38, ал. 1 от Закона за рибарството и аквакултурите (Закон за рибарството и аквакултурите. Обн. ДВ. бр. 41 от 24 април 2001 г.), минимално допустимия размер за улов е дефиниран като 8 см, както за черноморския меджид (*M. merlangus*), така и за барбунята (*M. barbatus*).

Сравнението между нормативно дефинираните минимално допустими размери за улов и литературно установените стойности L_{m50} показва наличие на съществено несъответствие между биологичните характеристики на видовете и действащите регулаторни прагове.

При *M. barbatus* публикуваните стойности в научната литература за L_{m50} са в диапазона 10.5-11.5 см, а за *M. merlangus* в диапазона 13-15 см в зависимост от използвания метод и изследваната популация. Това означава, че действащата нормативна уредба позволява законно задържане и разтоварване на значителен дял полово незрели индивиди и млади риби, които вероятно не са участвали дори веднъж в репродуктивния цикъл на запаса.

Получените резултати показват, че моделираните стойности на L_{50} остават под дължината при достигане на полова зрялост L_{m50} и при двата изследвани вида. Това показва, че значителна част от задържаните индивиди се улавят преди участие в размножаването, което ограничава репродуктивния потенциал на запасите и поставя под съмнение ефективността на минималните допустими размери като самостоятелен инструмент за управление (Prodanov, 1997; Daskalov and Rätz, 2011).

Недостатъчната размерна селективност създава предпоставки за увеличаване на приулова и изхвърлянията, които представляват съществен компонент на общата риболовна смъртност. Това подчертава необходимостта от съчетаване на регулаторните мерки с технологични решения за повишаване на оперативната селективност на риболовните уреди.

Резултатите показват, че оперативната селективност се определя от взаимодействието между конструктивните характеристики на трала, размерната структура на популациите и условията на експлоатация. При *M. barbatus* селективността е относително стабилна и се влияе предимно от конструктивните характеристики на уреда, което е в съответствие с резултатите на Kalaycı and Yeşilçiçek (2012), Raykov et al. (2021) и Moussa et al. (2026). При *M. merlangus* се наблюдава по-висока чувствителност към експлоатационните условия, което съответства на резултатите, докладвани от Zengin et al. (2019) и Moussa et al. (2026).

От гледна точка на популационната динамика улавянето на полово незрели индивиди увеличава риска от намаляване на попълването и нарушаване на размерната и възрастовата структура на запасите, което е характерно за интензивно експлоатирани рибни популации (Hutchings and Myers, 1994; Gislason and Rice, 1998; Pauly et al., 1998; Gascuel et al., 2007; Branch et al., 2010). Получените резултати потвърждават необходимостта от прилагане на биологично обосновани технически мерки за повишаване на селективността на тралните уреди като елемент от устойчивото управление на рибните ресурси в Черно море.

Научнообосновани технически препоръки за повишаване на оперативната селективност

Резултатите от настоящото изследване, разгледани в контекста на теоретичната постановка, статистическото моделиране на оперативната селективност и анализа на ефектите върху популационната динамика, показват необходимост от прилагане на научнообоснован подход при определянето на техническите характеристики на тралните уреди, използвани за улов на дънни и придънни видове в българските води на Черно море.

Анализът на оперативната селективност показва, че изследваните конвенционални трални конструкции не осигуряват достатъчно ефективно ограничаване на задържането на полово незрели индивиди от *M. barbatus* и *M. merlangus*. Независимо от различията в конструкцията на тралната торба и използваните мрежени материали, при всички анализирани конфигурации оценените стойности на L_{50} остават под литературно

установените стойности на L_{m50}, а делът на задържаните индивиди под L_{m50} надвишава 58–60% от общата композиция на улова.

Получените резултати показват, че ограничаването на риболовния натиск върху младите възрастови групи не може да бъде постигнато единствено чрез определяне на минимални размери за улов. Необходим е комплексен подход, основан на повишаване на оперативната селективност на риболовните уреди, който да осигури освобождаване на маломерните индивиди още по време на тралирането.

Повишаването на селективността има не само биологичен, но и технологичен и икономически ефект, тъй като намалява нежелания улов и изхвърлянията, съкращава времето за сортиране, подобрява качеството на реализирания улов и повишава ефективността на риболовните операции.

Резултатите показват, че оперативната селективност е резултат от взаимодействието между конструктивните характеристики на тралния уред, размерната структура на популациите и условията на експлоатация. Това налага при разработването на технически мерки да се отчита не само номиналният размер на окото на мрежата, но и реалното поведение на тралния уред при експлоатация.

Въз основа на получените резултати са формулирани научнообосновани препоръки за оптимизиране на конструктивните и експлоатационните характеристики на тралните уреди, използвани при улова на *M. barbatus* и *M. merlangus* в Черно море (Таблица 6.4.).

Таблица 6.4 Препоръчителни конструктивни характеристики на тралните уреди за улов на *M. barbatus* и *M. merlangus* и очакван ефект върху оперативната селективност.

Конструктивен елемент	**Съществуваща практика**	**Научнообоснована препоръка**	**Очакван ефект върху селективността L_{50}**	**Очакван дял на задържани индивиди под L_{m50}**
Размер на окото на тралната торба	32–36 mm	≥ 40 mm	Повишаване на L_{50} до (~11-12 cm) за *M. barbatus* и ~13–14 cm при *M. merlangus*	Намаляване на очаквания дял до ~40-50%
Геометрия на окото	Ромбовидно	Квадратно	Стабилизиране на селективния профил	Допълнително намаляване с ~5-10%
Материал на торбата	PA; PE + Dyneema	Материали с ниска деформация и висока размерна устойчивост	Ограничаване на вариабилността на L_{50}	Намаляване на вариабилността на размерната структура в задържането
Конструкция на торбата	Конвенционална	Селективни панели и “escape”-прозорци	Повишаване вероятността за освобождаване	Намаляване на очаквания дял под ~35-45%
Предпазна опасваща торба на трала (за предотвратяване на механични повреди на тралната торба)	Цялостно покриване на трала	Ограничено покриване на трала	Поддържане на ефективното отваряне на окото	Частично намаляване на задържането на маломерни и млади риби
Дължина на тралната торба	Конвенционална	Скъсена и структурно стабилизирана	Ограничаване деформацията на мрежовото платно и повишаване на	Намаляване вариабилността в задържането на дребни

			стабилността на селективния процес	размерни класове
Натоварване на тралната торба	Неконтролирано максимално натоварване (високи вариации)	Контролирано максимално натоварване	Поддържане на по-устойчиво ефективно отваряне на окото при експлоатация	Ограничаване на задържането при висока плътност на улова

Представените стойности имат аналитично-прогностичен характер и са базирани на сравнителна интерпретация на резултатите от настоящото изследване, публикувани литературни данни за селективността на трални уреди в Черно море и теоретичните зависимости между размера на окото, селективния праг L_{50} и вероятността за задържане на индивиди под L_{m50}.

От управленска перспектива резултатите показват необходимост от преход от статичен към функционален подход при регулирането на селективността на риболовните уреди. Действащата нормативна рамка е фокусирана основно върху номиналния размер на окото и минимално допустимите размери за улов, без да отчита реалното поведение на мрежовото платно при експлоатация и неговото влияние върху вероятността за задържане на незрели индивиди.

Въз основа на получените резултати настоящият дисертационен труд препоръчва въвеждането на адаптивна система за регулиране на селективността, базирана на:

- биологичните референтни точки на експлоатираните видове;
- оперативните характеристики на риболовните уреди;
- реалните условия на експлоатация;
- количествени показатели за задържане на незрели индивиди;
- оценка на селективния праг L_{50} и вероятността за задържане на индивиди под L_{m50}

Подобен подход би позволил по-прецизно регулиране на риболовния натиск върху различните размерни класове и възрастови групи и би създал по-надеждна основа за устойчиво управление на запасите от *M. barbatus* и *M. merlangus* в Черно море.

Оценка на потенциалния ефект от различни управленски сценарии

Въз основа на получените резултати са разгледани три основни управленски сценария, отразяващи различни нива на техническа и регулаторна интервенция.

<u>Сценарий 1 – Запазване на съществуващия режим</u>

При първия сценарий се приема запазване на действащите характеристики на тралните уреди, съществуващите размери на окото на тралната торба и действащите минимално допустими размери за улов, регламентирани в Закона за рибарството и аквакултурите. При този режим оперативната селективност остава практически непроменена, а стойностите на L_{50} продължават да се намират под биологично обоснованите стойности на L_{m50} и за двата изследвани вида.

Получените резултати показват, че при подобен сценарий значителна част от задържаните индивиди ще продължи да бъде формирана от биологично незрели екземпляри (Таблица 6.6.). Това означава, че риболовната смъртност остава концентрирана върху младите възрастови групи, преди индивидите да са участвали ефективно в репродуктивния процес. В дългосрочен аспект, подобна структура на експлоатация създава предпоставки за прогресивно понижаване на средната възраст и размер в популацията, редуциране на възрастовото разнообразие и намаляване на ефективната репродуктивна биомаса.

<u>Таблица 6.6</u>. Прогнозни ефекти при запазване на съществуващите оперативни режими.

Показател	*M. barbatus*	*M. merlangus*
Очаквана L_{50}	~10.2–10.3 cm	~12.2–12.3 cm
Стойности докладвани в литературата за L_{m50}	~10.5–11.5 cm	~13–15 cm
Очакван дял на задържани индивиди под L_{m50}	58–61%	60–62%
Тенденции в размерната структура	Намаляване на средната дължина на индивидите в популацията и намаляване на репродуктивния потенциал	Силно изразено намаляване на средната дължина на индивидите в популацията и намаляване на репродуктивния потенциал

Този ефект е особено проблематичен при *M. merlangus*, при който половото съзряване настъпва при по-големи размери, а анализът на оперативната селективност показва по-висока вероятност за задържане на индивиди под L_{m50}. При подобен режим на експлоатация съществува риск от т.нар. „size truncation“ – намаляване на средната дължина в размерната структура на популацията, при което постепенно намалява относителният дял на по-възрастните и по-едри индивиди, характеризиращи се с по-висок репродуктивен потенциал.

Сценарий 2 – Частично подобряване на селективността

Този сценарий разглежда въвеждането на ограничени технически мерки за подобряване на селективността, включително увеличаване размера на окото на мрежата на тралната торба до ≥ 40 мм, използване на по-стабилни мрежови конструкции и частична оптимизация на тралната торба. При предприемане на подобни мерки може да се очаква умерено повишаване на стойностите на L_{50} и съответно намаляване на очакванията дял на задържаните индивиди с дължина под L_{m50} (Таблица 6.7.). Подобряването на селективността в този случай се основава основно на увеличаване вероятността за освобождаване на дребните размерни класове по време на преминаването им през тралната торба.

Таблица 6.7. Прогнозни ефекти при частично подобряване на селективността.

Показател	*M. barbatus*	*M. merlangus*
Очаквана L_{50}	~10.8–11.2 cm	~13.0–13.5 cm
Очакван дял на задържани индивиди под L_{m50}	45–52%	48–55%
Очаквано намаляване на ювенилни риби	~10–15%	~8–12%
Риск за свръхексплоатация на попълването	Умерен	Умерено-висок
Тенденции върху репродуктивния потенциал на популацията	Частично стабилизиране	Подобрение

По отношение на състоянието на популацията, подобно изменение би довело до частично възстановяване на размерната структура на запасите и до увеличаване на вероятността индивидите да участват поне веднъж в размножаването преди включването им в риболовната смъртност. Очакваният ефект обаче вероятно ще остане ограничен, ако

не бъдат отчетени и реалните експлоатационни условия, влияещи върху поведението на мрежовото платно по време на тралене.

Сценарий 3 – Комплексен селективен подход

Третият разглеждан сценарий (Таблица 6.8.) включва комбинирано прилагане на технически и управленски мерки, насочени към едновременно ограничаване на задържането на незрели индивиди и подобряване на възрастовата и размерната структура на запасите. Разглежданият подход включва:

- увеличаване размера на окото на тралната торба;
- използване на мрежени панели с квадратна форма на окото;
- контролиране на натоварването на тралната торба;
- контрол върху продължителността на тралене;
- прилагане на селективни “escape”-прозорци;
- ограничаване на елементите на ограждащата торба на трала;
- актуализиране на минимално допустимите размери за улов в съответствие с биологичните референтни точки L_{m50}.

Този сценарий показва най-висок потенциал за подобряване на селективността и намаляване на риболовния натиск върху незрелите възрастови групи. Комбинираното прилагане на конструктивни и регулаторни мерки би довело до значително повишаване на вероятността за освобождаване на дребните размерни класове още по време на риболовната операция и съответно до намаляване на натиска върху младите риби.

При подобен подход може да се очаква постепенно увеличаване на средния размер и възраст в структурата на запасите, стабилизиране на попълването и повишаване на ефективната биомаса. Подобряването на възрастовата структура има особено важно значение за устойчивото развитие на популациите, тъй като по-възрастните и по-едри индивиди обикновено се характеризират с по-висока индивидуална плодовитост и по-голям принос към успешното попълване на запасите.

Таблица 6.8. Прогнозни ефекти при комплексен селективен подход.

Показател	***M. barbatus***	***M. merlangus***
Очаквана L_{50}	~11.5–12.0 см	~13.8–14.5 см
Очакван дял на задържани индивиди под L_{m50}	30–40%	35–45%
Очаквано намаляване на ювенилни риби	~25–35%	~20–30%
Риск за свръхексплоатация на попълването	Попожителен	Значително подобрение
Тенденции върху репродуктивния потенциал на популацията	Стабилизиране	Възстановяване на възрастовата структура

6.5. Изводи

1. Резултатите от проведеното изследване показват, че оперативната селективност на използваните конвенционални уреди за улов на *M. barbatus* и *M. merlangus* в българските води на Черно море е недостатъчна по отношение на ограничаването на задържането на полово незрели индивиди. И при двата изследвани вида оценените стойности на L_{50} остават под литературно установените стойности на L_{m50}, което показва, че значителна част от задържаните екземпляри не са достигнали полова зрялост към момента на улавяне.

2. Сравнителният анализ между наблюдаваните и моделираните стойности на селективността показва устойчиво висок дял на индивидите под L_{m50} в композицията на улова. За *M. barbatus* този дял варира приблизително между 58–61%, а при *M. merlangus* между 60–62%, независимо от разглежданите модификации на тралната торба. Получените резултати потвърждават, че при съществуващите конструктивни характеристики на уредите риболовната смъртност е концентрирана в значителна степен върху ранните възрастови групи.

3. Установените стойности на оперативната селективност следва да бъдат интерпретирани не само като индикатор за експлоатационния натиск върху попълването на запасите, но и като индикатор за потенциално високи нива на изхвърляния. Значителната вероятност за задържане на малоразмерни класове предполага формиране на съществено количество нежелан улов, който впоследствие подлежи на сортиране и потенциално изхвърляне. Това увеличава общата риболовна смъртност и води до допълнителна риболовен натиск върху популациите, независимо че, част от тези индивиди формално не участват в реализирания улов.

4. Анализът показва също, че нормативно определените минимално допустими размери за улов в действащата законодателна рамка не съответстват на биологичните референтни стойности за достигане на полова зрялост. Минималният допустим размер от 8 см както за *M. barbatus*, така и за *M. merlangus* остава съществено под литературно установените стойности на L_{50}, което означава, че действащата нормативна система позволява законно задържане и разтоварване на значителен дял незрели индивиди. В резултат минимално допустимите размери не изпълняват ефективно функцията си като механизъм за защита на репродуктивния потенциал на запасите.

5. Получените резултати показват, че оперативната селективност представлява комплексен резултат от взаимодействието между конструктивните характеристики на тралния уред, механичните свойства на използваните материали, размерната структура на популацията и условията на експлоатация. Въпреки че експлоатационните параметри като натоварване на тралната торба и продължителност на тралене оказват влияние върху селективния процес, резултатите показват, че конструктивните характеристики на тралната торба (codend) имат водещо значение за вероятността за задържане на дребни размерни класове.

6. При *M. barbatus* се установява относително стабилен селективен профил при различните експлоатационни условия, което предполага по-силно влияние на морфологичните особености на вида и конструкцията на тралната торба. При *M. merlangus* се наблюдава по-висока чувствителност към измененията в условията на експлоатация, което вероятно е свързано с по-широкия размерен диапазон на улова и особеностите на пространственото разпределение на възрастовите групи.

7. Резултатите от анализа потвърждават необходимостта от въвеждане на научнообосновани технически мерки за подобряване на селективността на тралните уреди. Най-висок потенциал за ограничаване на задържането на незрели индивиди показват мерки като:

- увеличаване размера на окото на тралната торба до ≥ 40 мм;
- използване на мрежови панели с квадратна форма на окото в тралната торба;
- прилагане на “escape”-прозорци;
- ограничаване деформацията на мрежовото платно;
- контрол върху натоварването на тралната торба;
- използване на материали с по-висока размерна стабилност и по-ниска деформация.

Апробацията на различните управленски сценарии показва, че запазването на настоящите режими на експлоатация би довело до продължаващ натиск върху младите възрастови групи и до постепенно нарушаване на размерната и възрастовата структура на запасите. Частичното подобряване на селективността би имало ограничен положителен ефект, но само комплексният подход, комбиниращ технически и регулаторни мерки, показва потенциал за реално намаляване на натиска върху малките размени класове (ювенилни и маломерни риби) и стабилизиране на репродуктивния потенциал на популациите.

8. В дългосрочен аспект подобряването на оперативната селективност следва да се разглежда не само като техническа мярка за оптимизиране на улова, а като ключов инструмент за ограничаване на изхвърлянията, намаляване на риболовната смъртност върху незрелите възрастови групи и осигуряване на устойчиво управление на запасите от дънни и придънни видове в Черно море.

ОБОБЩЕНИ РЕЗУЛТАТИ И ИЗВОДИ

1. Установена е съществена празнина в научното осигуряване и практическото прилагане на концепцията за селективност на риболовните уреди в българския черноморски риболов, което затруднява устойчивото управление на рибните ресурси.

2. Разработена е интегрирана методологична рамка за оценка на оперативната селективност на конвенционални трални риболовни уреди, съчетаваща конструктивните характеристики на уредите, биологичните особености на видовете, експлоатационните параметри и съвременни статистически модели.

3. Доказана е приложимостта на обобщените адитивни модели (GAM/GAMM) за количествена оценка на оперативната селективност и моделиране на взаимодействието между конструктивните, биологичните и експлоатационните фактори.

4. Установено е, че оперативната селективност има ясно изразен видовоспецифичен характер. При *M. barbatus* тя се определя предимно от конструктивните характеристики на коденда, докато при *M. merlangus* съществено влияние оказват и експлоатационните условия.

5. Установено е, че при изследваните трални конструкции стойностите на L_{50} остават под дължината при достигане на полова зрялост и при двата вида, което показва риск от улавяне на полово незрели индивиди и неблагоприятно въздействие върху възпроизводството на запасите.

6. Доказано е, че оперативната селективност е надежден индикатор за оценка на устойчивостта на риболова и може да се използва при оценка на приулова, изхвърлянията и въздействието на риболова върху експлоатираните популации.

7. Получените резултати обосновават необходимостта от усъвършенстване на техническите мерки за селективност и прилагане на научнообоснован подход при управлението на риболова в съответствие с принципите на Общата политика в областта на рибарството на Европейския съюз.

8. Разработената методология създава основа за изграждане на национална система за мониторинг и оценка на селективността на риболовните уреди и може да подпомогне научното консултиране и устойчивото управление на рибните ресурси в Черно море.

ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

НАУЧНИ ПРИНОСИ

НП1. За първи път за българските води на Черно море е извършен комплексен анализ на оперативната селективност на конвенционални трални уреди за улов на M. barbatus и M. merlangus, включващ оценка на връзката между селективността на риболовните уреди, размерната структура на улова, изхвърлянията и биологичните референтни точки на експлоатираните популации. Установено е, че наблюдаваните и моделирани стойности на L_{50} при използваните варианти на конвенционални трални уреди остават под литературно установените стойности на L_{m50}, което показва наличие на значителен риболовен натиск върху полово незрелите индивиди и риск от нарушаване на процесите на попълване на запасите.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

НПП1. Разработена е приложима методология за оценка на оперативната селективност на трални риболовни уреди при реални условия на експлоатация, която може да бъде използвана както в научни изследвания, така и в практиката на управлението на

рибарството. Разработен е аналитичен подход за оценка на ефективното отваряне на окото на мрежата (d_{eff}), основан на включването на конструктивни и експлоатационни параметри, свързани с реалните условия на тралиране.

НПП2. Формулирани са научно-базирани препоръки за оптимизиране на конструктивните характеристики на тралните уреди за улов на дънни и придънни видове в Черно море, насочени към ограничаване на задържането на полово незрели индивиди и намаляване на изхвърлянията.

НПП3. Предложени са конкретни технически и управленски мерки за подобряване на селективността на тралните уреди, включително увеличаване размера на окото на тралната торба (коденд), използване на панели с квадратна форма на окото, прилагане на селективни escape-прозорци и оптимизиране на контрукцията на торбата на трала.

НПП4. Разработени са аналитично-прогностични управленски сценарии за оценка на ефекта от различни режими на селективност върху размерната и възрастовата структура на запасите от *M. barbatus* и *M. merlangus*, включително оценка на потенциалното влияние върху задържането на млади риби, смъртността от изхвърляния и натиска върху попълването.

НПП5. Получените резултати предоставят научна основа за актуализиране на нормативната рамка, свързана с минимално допустимите размери за улов и техническите характеристики на риболовните уреди, използвани в българските води на Черно море.

СПИСЪК С ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

A1. RAYKOV, V., RAEV, Y., Petrov, K., & Nikolov, G. (2021). TRAWL SELECTIVITY OF FISHING GEARS TARGETING RED MULLET (*Mullus barbatus* L.) IN BULGARIAN MARINE ZONE. *Journal of Environmental Protection and Ecology, 22(1), 143-153. Q4 – 12 m.*

Journal Indexed In: Journal of Environmental Protection and Ecology is indexed in Scopus with SJR = 0.147 (2024) and classified in Q4 quartile across environmental science categories

A2. Alexandrova, A., Raev, Y., Dimitrov, D., Chipev, N., Tsvetanova, E., Georgieva, A., & Raykov, V. (2022). Comparative study on the oxidative stress of commercially important fish species from localities with different ecological conditions along the Bulgarian Black Sea coast. *BioRisk, 17,* 117-126. *Q3 – 15 m.*

Journal Indexed In: BioRisk is indexed in Scopus with SJR = 0.268 (2024) and classified in Q3 quartile in ecology and biodiversity sciences.

A3. Alexandrova, A. V., Chipev, N. H., Raev, Y. R., Tsvetanova, E. R., Georgieva, A. P., & Raykov, V. S. (2021). Is the Marine Environment of the Black Sea Stressful for Organisms: A Pilot Assessment of Oxidative Stress in Bulgarian Coastal Fish Species. *Ecologia Balkanica*. *Q4 – 12 m.*

Journal Indexed In: Ecologia Balkanica is indexed in Scopus with SJR ≈ 0.19 and classified in Q4 quartile in ecology.

A4. RAEV, Y. (2026). Technological Solutions for Reducing Discards in Fisheries: Assessment of the Operational Selectivity of Trawl Gears Used in Demersal and Benthopelagic Fisheries, with a Focus on Red Mullet (*Mullus barbatus*) and Whiting (*Merlangius merlangus*), in Bulgarian Black Sea Waters. *Proceedings of the XVIII International Conference on Marine Sciences and Technologies "Black Sea '2026"*, Varna, Bulgaria, 29–30 October 2026, ISSN 1314-0957. Приета за печат в пълен текст.

Самостоятелна публикация в рецензиран сборник от международен научен форум, включен в Националния референтен списък на НАЦИД; без SJR/JCR квартил.

ABSTRACT

This dissertation investigates the operational selectivity of conventional bottom trawl fishing gear used for harvesting two commercially important demersal fish species in the Bulgarian Black Sea waters - red mullet (*Mullus barbatus* Linnaeus, 1758) and whiting (*Merlangius merlangus* Linnaeus, 1758). Improving fishing gear selectivity is one of the principal approaches for reducing bycatch and discards and for supporting the sustainable exploitation of marine living resources within the framework of the European Union Common Fisheries Policy and the ecosystem approach to fisheries management.

The study addresses a significant scientific and practical gap related to the limited experimental information on the selectivity of trawl codends used in the Bulgarian Black Sea fishery. The research aims to evaluate the operational selectivity of conventional trawl gear under commercial fishing conditions and to identify the influence of codend design, mesh size, netting material, and operational parameters on the retention probability of different size classes of the target species.

Experimental data were collected during commercial fishing operations carried out between 2021 and 2023 on the Bulgarian continental shelf of the Black Sea. Three conventional trawl configurations differing in codend construction, mesh size, and netting material were investigated. Biological samples of *M. barbatus* and *M. merlangus* were collected, and individual total length and body weight were recorded. Operational variables, including towing speed, towing duration, catch weight, fishing depth, and codend characteristics, were documented for each haul.

The analytical framework combines a mechanistic concept of codend selectivity with advanced statistical modelling. Generalized Additive Models (GAM) and Generalized Additive Mixed Models (GAMM) with negative binomial and hurdle distributions were applied to quantify operational selectivity under real fishing conditions. The modelling approach incorporates both engineering characteristics of the fishing gear and operational variables, allowing estimation of size-dependent retention patterns, selectivity curves, median retention length (L_{50}), and selection range (SR).

The results demonstrate clear species-specific differences in operational selectivity. For *M. barbatus*, selectivity proved to be relatively stable and primarily determined by codend design, while operational variables had only limited influence. In contrast, *M. merlangus* exhibited considerably greater variability, with operational factors such as net tension contributing significantly to the selectivity process. The applied models successfully described the nonlinear relationship between fish length and retention probability, explaining approximately 83% of the variation for *M. barbatus* and over 51% for *M. merlangus*.

Comparison between the estimated L_{50} values and published lengths at first sexual maturity (L_{m50}) revealed that, for all investigated trawl configurations, median retention lengths remained below the biological maturity threshold for both species. Consequently, a substantial proportion of retained individuals had not yet reached sexual maturity, indicating that the existing trawl configurations provide insufficient protection for juvenile fish and may negatively affect stock recruitment and long-term sustainability.

The study further demonstrates that operational selectivity should be interpreted as an integrated characteristic resulting from the interaction between fishing gear design, fish population size structure, and fishing operation conditions, rather than solely as a function of nominal mesh size.

Based on the experimental findings, scientifically justified recommendations are proposed for improving trawl codend design through increased mesh size, improved netting geometry, optimized material properties, and adaptive technical measures aimed at reducing juvenile retention and unwanted catches. The dissertation also highlights the need to integrate biological reference points into fisheries management and suggests that operational selectivity should become a key indicator in future monitoring and assessment programmes.

The developed methodological framework provides a reliable scientific basis for evaluating trawl selectivity under commercial fishing conditions and can support future technical regulations, fisheries management strategies, and sustainable exploitation of marine living resources in the Bulgarian Black Sea.