

## **ПРОБЛЕМЪТ С ПОДВОДНИЯ ШУМ СЪЗДАВАН ОТ КОРАБОПЛАВАТЕЛНА ДЕЙНОСТ**

**инж. Григорина Пепо Цачева**

Докторант, Технически университет – гр.Варна

**Резюме:** Тази статия има за цел да представи проблемите, свързани с подводния шум в океаните и моретата, създаван от корабоплавателна дейност.

**Ключови думи:** Корабоплаване, подводен шум, замърсяване.

## **THE UNDERWATER NOISE PROBLEM CREATED BY SHIPPING ACTIVITY**

**Grigorina Pepo Tsacheva**

PhD Student, Technical University-Varna

**Abstract:** This article aims to present the problems related to underwater noise in the oceans and seas created by shipping activities.

**Keywords:** Shipping, underwater noise, pollution.

## 1. Въведение

Много години наред човечеството е мислело, че морето е тихо място, защото нашите уши са пригодени да чуват звуци в среда от въздух, не във вода. Разпространението на звука във водата е около 5 пъти по – бързо, от колкото във въздуха. Подводният шум може да бъде генериран, както от естествени източници - като разбиващи се вълни, така и от антропогенни източници, включително кораби, сеизмични проучвания и сонари.

Известно е, че корабоплаването има основен принос за антропогенния шум в океаните. Нивата на подводния шум са се увеличили с по-бърз темп, отколкото ръста на развитие на световния флот. Тази тенденция ще продължи. Въпреки потенциално вредните въздействия на подводния шум върху морската фауна и значителният обем от знания от изследователски проекти по темата, в момента има ниска заинтересованост в сравнение с други екологични проблеми, свързани с устойчивостта в рамките на корабната индустрия, като например емисии на парникови газове. Липсва международна политика за ограничаване на подводния шум в океаните. Напоследък се полагат усилия за насочване на вниманието към темата.

## 2. Основна част

В рамките на Европейския съюз (ЕС), подводният шум е разгледан в Рамковата морска стратегия за добро състояние на околната среда, където в момента се предлагат прагови граници.

През последните десет години множество изследователски проекти, финансирани от ЕС са допринесли за познанията по темата. Това все още не е довело до широко разпространени действия по отношение на намаляване на подводния шум.

Политиките, които могат да бъдат приложени, са свързани със стимулите. Въпреки че множество класификационни дружества предлагат сертификат „Quiet Class” („Тих клас кораби“), малко търговски кораби досега са били построени с изисквания за шум. Собствениците на кораби могат да бъдат насърчавани да получават такива обозначения чрез схеми за стимулиране, които също могат да приемат доброволна устойчивост сертификат като доказателство за шумови характеристики.

Антропогенните подводни звуци, генерирани съзнателно или несъзнателно в резултат на човешка дейност са признати за замърсители на морската среда, тъй като представляват форма на енергия, която може да окаже отрицателно въздействие върху морската среда [1]. В този контекст шумът се определя като звук, който пречи на

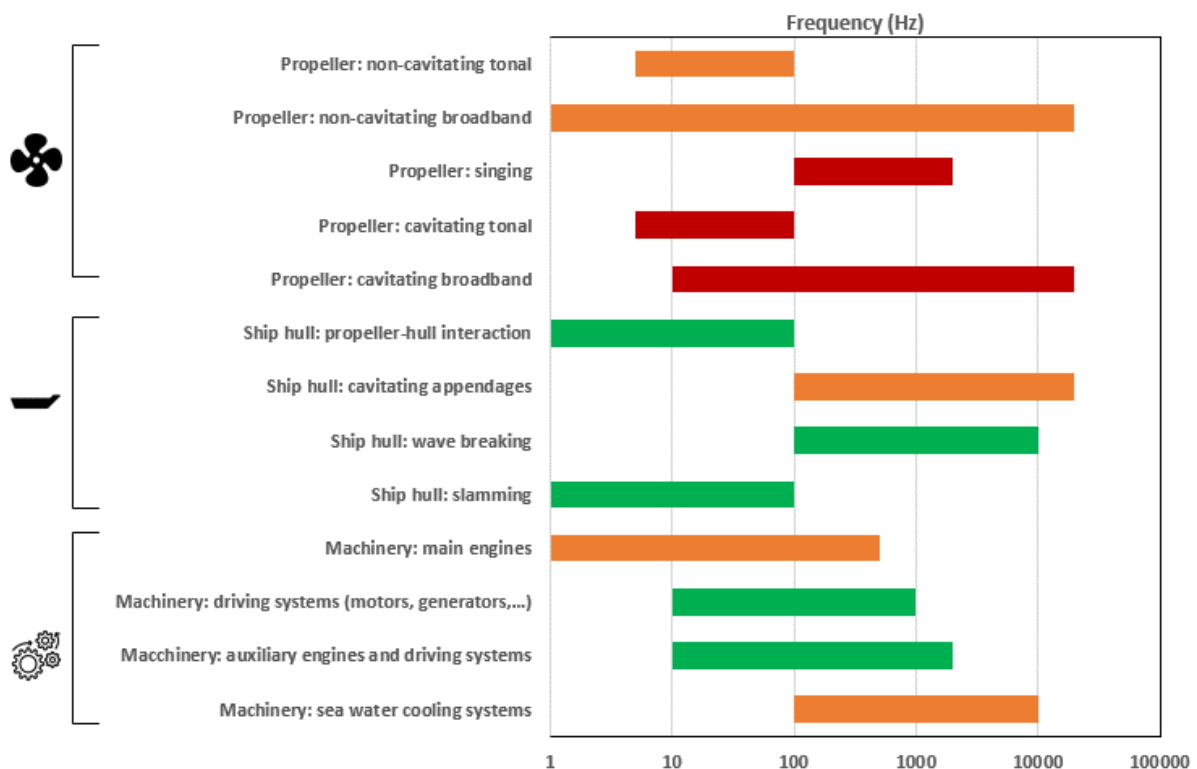
животните. Морските обитатели използват звуци, за да комуникират по между си, за намиране на храна, партньор и защита. Шумовете генерирани от човешка дейност пречат на жизнената дейност на морските обитатели. Подводният шум, излъчван от корабите е признат за един от основните източници на шумово замърсяване на океана.

### Източници на подводния шум

Характеризирането и разбирането на източниците на шум, генерирани от корабите, е важно за оценката на въздействието върху морската среда и предлагането на мерки за ефективно намаляване на шумовото замърсяване.

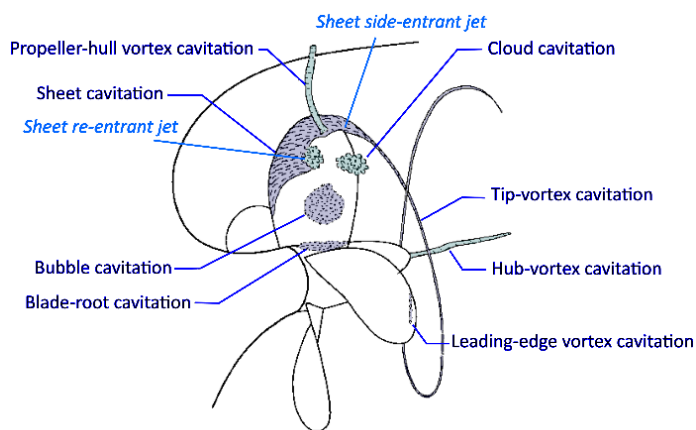
Корабите генерират непрекъснат шум в широк диапазон от честоти, от 1 Hz до около 100 kHz. Можем да определим три основни категории източници на шумово замърсяване от корабите [2]:

- Шум от главния двигател на кораба;
- Шум от потока вода преминаващ около корпуса на кораба;
- Шум от винта на кораба.



Фигура 1: Преглед на постоянни източници на подводен шум от кораби (Bretschneider et al., 2014): червено – висок принос; оранжево – среден принос; зелено – нисък принос.

Кавитацията обикновено се появява на витлата на кораба, поради голямото натоварване на лопатките на винта. Шумът, генериран от кавитацията е в широк диапазон от честоти, поради трептене и свиване на мехурчета с различни размери [3]. Скоростта, с която започва да се образува кавитация, се нарича начална скорост на кавитация (CIS – cavitation inception speed) и обикновено се свързва с голямо увеличение на нивата на шума. Над CIS, тъй като силата на тягата, генерирана от витлото, се увеличава следва допълнително увеличение и на количеството кавитация, което в повечето случаи води до по-високи нива на шум. Въпреки това, абсолютните нива на шум за даден кораб зависят от множество други фактори, включително размер, конструкция на корпуса, конструкция на винта и състояние на кораба (натоварен или под баласт).



Фигура 2 Видове кавитация на корабен винт [3].

Различни форми на кавитация могат да въздействат едновременно, поради действието на винта. На фигура 2 са изобразени основните форми на кавитация, които попадат в три основни категории: мехурчеста, листовка и вихрова кавитация.

Sheet and tip vortex кавитация обикновено се появява първата. За добре проектирани пътнически кораби и яхти – остава единствената форма. Поради това често е първичен (широколентов) източник на шум, генериран от кораб и е получил най-широко внимание за изследване.

Други форми на кавитация на витлото могат да генерират значителен шум, като Blade-root and propeller-hull vortex cavitation, въпреки че те рядко се появяват на търговски кораби. Hub vortex and rudder cavitation са по-често срещани, но не се очаква да доведат до високи нива на шум поради по-ниските скорости на потока и по този начин се получава намалена динамика на кавитация, спрямо върха на лопатките на винта.

В типичните конструкции на витлата е разрешена известна кавитация – и в повечето случаи е неизбежна – за да се постигне задоволителна ефективност на витлото. Основните съображения при проектирането са избягване на кавитационна ерозия и приемливи сили на възбуждане на корпуса, въпреки че подводния шум също може да се вземе под внимание, например чрез използване на многоцелева оптимизация.

Шумът от машините в контекста на подводно-излъчвания шум се отнася до шума и вибрациите, пренасяни от конструкцията и генерирани от машините и механизмите на борда на кораба. Най – голям дял в шумовото замърсяване от машините има корабният двигател, но не малко е шумовото замърсяване генерирано от спомагателните машини и механизми.

Шумът от машини произхожда от въртящи се или бутални машини при честоти, съответстващи на честотата на въртене на вала и скоростта на запалване на двигателя. Честотният диапазон, при който се генерира шумът, зависи главно от вида двигател и режим на работа. Големите бавнооборотни двигатели са най-често използваната задвижваща установка за големи търговски кораби и генерират шум при много ниски честоти (под 10 Hz). Този шум се увеличава за средни скорости и високоскоростни двигатели, които работят при по-високи скорости на въртене на винта и използват скоростна кутия за задвижване на винта. Освен това, тъй като повечето кораби са оборудвани с винт с фиксирана стъпка (FPP – fixed-pitch propellers), шумът ще се измести към по-висок честоти с увеличаване на скоростта на кораба. За плавателни съдове, оборудвани с витла с контролируема стъпка (CPP- controllable-pitch propellers), двигателят е по-вероятно да работи при постоянна скорост на въртене, за да задвижва спомагателно оборудване, което изисква фиксирана скорост на винта.

Измерванията на подводния шум генерирани от кораба са от съществено значение като част от оценката на въздействието и въвеждането на мерки за намаляването му.

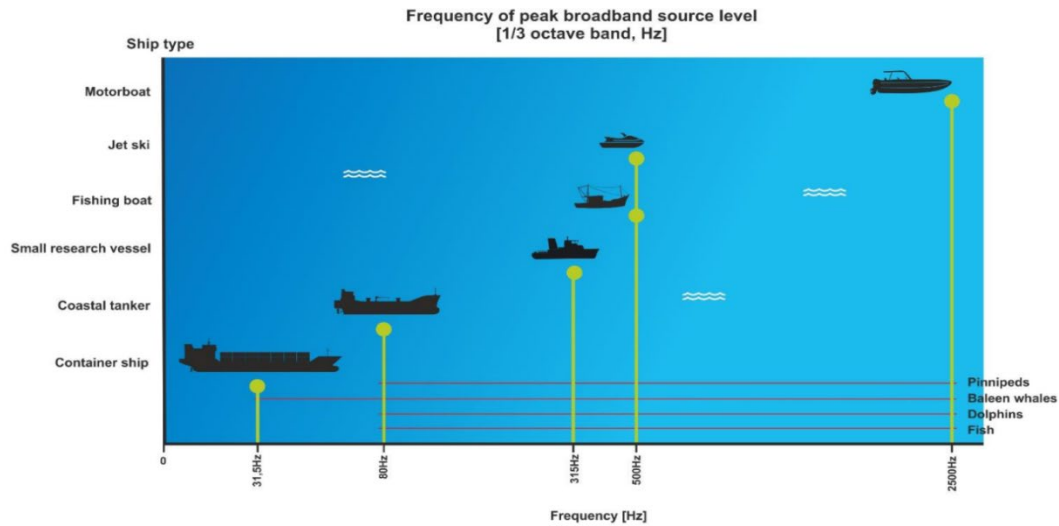
Могат да се разграничат два основни вида измервания на подводния шум генериран от кораби: специализирани и опортюнистични.

- Специализирани измервания се отнасят до шумови изпитвания на конкретен кораб. Те могат да бъдат извършени според класификационното общество или други препоръчителни процедури, както е описано например в ИТТС (2017), за проверка на свързаните с шума проектни спецификации използвайки правилата на класа. Понякога се провеждат по-обширни изпитания за целите на проучването или отстраняване на неизправности, което може да включва измервания при различни скорости на кораба, настройки на двигателя и настройки на стъпката на витлото.

Различни части от машините могат също да се управляват поотделно, за да се характеризира тяхното шумово излъчване.

- Опортюнистични измервания се правят, когато плавателни съдове преминават през станция за наблюдение, за да се оцени например URN на кораба - нива в близост или анализирайки времеви (дневни, годишни) тенденции. Следователно, записаните данни ще представляват шумови нива за типичен местен морски трафик, с включени множество видове плавателни съдове и работни условия.

По-малките плавателни съдове за отдых са определени като доминиращи, допринасящи за повишени нива на шума в някои европейски крайбрежни региони [4]. Това зависи и от разпределението на видовете кораби в определен район.



Фигура 3 Честота на шума генериран от различни видове плавателни средства. използвани са източници: контейнеровоз – Gassmann et al. (2017); танкер – Johansson et

*al. (2015); малък изследователски кораб - Brooker и др. (2016); рибарска лодка – Peng et al. (2018); джет – Erbe (2013); моторна лодка – Mensinger et al. (2018) [2]*

- **Конвенция на ООН по Морско право**

Съгласно тази конвенция „*замърсяване на морската среда означава въвеждането от човека, пряко или непряко, на вещества или енергия в морската среда, включително естуари, което води или е вероятно да доведе до такива вредни ефекти като увреждане на живите ресурси и морския живот, опасности за човешкото здраве, възпрепятстване на морските дейности, включително риболов и други законни употреби на морето, влошаване на качеството за използване на морската вода и намаляване на удобствата*”[1]. Като се има предвид, че звукът е форма на енергия, с потенциал да повлияе на морската среда, може да се счита за замърсител.

- **Конвенция за опазване на мигриращите видове животни**

Конвенцията за опазване на мигриращите видове диви животни, известна още като Bonn конвенция, е екологичен договор на Обединените нации за опазване и утойчиво използване на мигриращи животни и техните местообитания, поставяйки правната основа за международно координирани мерки за опазване по време на миграция. На практика това действа като рамкова конвенция и споразуменията могат да варират от правно обвързващи договори към по-малко официални инструменти и може да се адаптира към изискванията на определени региони.

Споразумения, свързани с управлението на подводния шум, произтичащи от тази конвенция:

- *Споразумение за опазване на китоподобните в Черно море, Средиземно море и прилежащата част на Атлантическия океан. ACCOBAMS - Agreement on the Conservation of Cetaceans of the Black Sea, Mediterranean Sea and Contiguous Atlantic Area.*
- *Споразумение за опазване на малките китоподобни в Балтийско, Североизточния Атлантик, Ирландско и Северно море. ASCOBANS - Agreement on the Conservation of Small Cetaceans of the Baltic, North East Atlantic, Irish and North Seas.*

- **Конвенция за биологичното разнообразие (Convention of Biological Diversity CBD)**

Конвенцията за биологичното разнообразие влезе в сила през декември 1993 г. и има три основни цели:

- Опазване на биологичното разнообразие;
- Устойчивото използване на компонентите на биологичното разнообразие;
- Справедливо споделяне на ползите, произтичащи от използването на генетични ресурси.

- **Конвенция за опазване на морската среда на Североизточния Атлантик** Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic (OSPAR Convention)

Конвенцията OSPAR влезе в сила през март 1998 г. и се отнася за предотвратяване и премахване на замърсяването с цел защита на морското пространство срещу неблагоприятните последици от човешките дейности, за да се защити човешкото здраве и да се опазят морските екосистеми и когато е възможно, възстановяване на морските райони на североизточния Атлантик, които са били неблагоприятно засегнати. Съгласно Конвенцията, **замърсяване** означава „*внесяне от човека, пряко или непряко, на вещества или енергия в морската зона, което води или има вероятност да доведе до опасности за човешкото здраве, увреждане на живи ресурси и морски екосистеми, увреждане на удобствата или намеса в други законни употреби на морето*“ [5].

Темата за подводния шум се разглежда от Комитета за въздействието на човешките дейности върху околната среда към Междусесийна кореспондентска група по подводен шум.

- **Конвенцията за защита на Средиземно море от замърсяване** (Конвенция от Барселона).

Тази конвенция е приета на 16 февруари в Барселона и влиза в сила през 1978 г. През 1995 г. е изменена и преименувана на Конвенция за опазване на морската среда и крайбрежния район на Средиземно море. През 2016г. е прието решение IG 22/7, в което се приема програма за интегриран мониторинг и оценка на Средиземно море и крайбрежието. Страните по конвенцията се насърчават да разработят програми за мониторинг на подводния шум.

### **Сертифициране**



Въпреки липсата на задължителна наредба за URN на кораба, собствениците на кораби могат да изберат да оценят качествено шума, ефективността на своя флот чрез програми за доброволно сертифициране. Докато съществуват няколко такива програми, покриващи множество видове замърсяване от кораби, програмата за екологично сертифициране Green Marine е единствената, която включва URN. Сертифицирането е средство за насърчаване на непрекъснато подобряване по отношение на екологичните показатели при ниво на флота, което позволява на собствениците да демонстрират своите устойчиви акредитиви и се приема например като доказателство, за да се класирате за намалени пристанищни такси в пристанището (например Ванкувър) в рамките на програмата ЕСНО. Критериите за оценка се определят и преразглеждат ежегодно от експертни работни групи. По отношение на URN те препоръчват подобряване на годишното представяне, концентрирайки се върху най-старите кораби във флота.

Ефективно намаляване на шума от кораби в европейските пристанища или крайбрежните държави може да се постигне с насърчаване на широкото приемане на доброволно сертифициране. Използването на стимули, основани на доброволно сертифициране ще спомогне за ангажирането към проблема и сътрудничество между заинтересованите страни в отсъствието на научно обосновани граници за шума.

### **Мерки за намаляване на подводния шум**

Корабособствениците и асоциациите на корабособствениците, интервюирани за това проучване подчертават, че емисиите на парникови газове са техният настоящ фокус, като шумът има нисък приоритет поради липса на нормативна база. Това обаче може да се промени, ако се повиши осведомеността на клиентите за въздействието на шума.

### **Технически мерки**

- *Винт* – шумът създаден от кавитацията на винта е основен източник на шум, в широк спектър от честоти. Това е и причината да получи най – голямо внимание при направените проучвания.

Увеличаване на диаметъра на витлото и/или броят на лопатките и намаляващата скорост на въртене служат за намаляване на натоварването върху лопатките, което води до по-малки степени на кавитация. Практическото прилагане на такива стратегии обаче може да бъде ограничено от технически ограничения, като скоростта на въртене на основния двигател за оптимална горивна ефективност. Освен това изборът на тип корабен двигател често влияе върху избора на тип витло: витла с фиксирана стъпка са предпочитани за нискооборотни двигатели, докато витлата с контролируема стъпка се прилагат по-често в комбинация със средно- и високооборотни двигатели.

Притокът на вода към витлото има голямо влияние върху шума, тъй като промените в скоростта на потока водят до колебания в натоварването на витлото и следователно повишена кавитационна динамика и шумово излъчване. Това означава, че трябва да се подобри хомогенността на полето, в което се върти винта. Може да се постигне чрез оптимизиране на формата на корпуса или прилагане „wake improvement device“. Тези устройства обикновено са насочени към подобряване на ефективността на задвижването, което означава, че могат да позволят едновременно намаляване на разхода на гориво и намаляване на подводния шум.

Дизайнът на лопатката на винта влияе, както на ефективността, така и на подводния шум, създаден при въртенето. Корабните винтове се различават по стъпка, наклон, дължина, дебелина, секционен профил и изкривяване. Ефективността и URN представят противоречиви цели в процес на проектиране на витлото, поради противоположната им зависимост от тягата. По-високата ефективност води до по-нисък локален натиск върху лопатките, което води до повече кавитация.

- *Избор на задвижваща машина*

Най-често срещаните задвижващи двигатели за големи търговски кораби са нискоскоростни (двутакови) дизелови двигатели, поради тяхната превъзходна ефективност, но въпреки това те могат да излъчват значителен шум под вода поради големия си размер и трудностите при изолирането им от конструкцията на корпуса на кораба. Двигателите със средна скорост могат да бъдат монтирани върху опори/стойки, което води до подобрена изолация от корпуса на кораба и намален шум. Въпреки това, ако е необходима скоростна кутия, това може да доведе до допълнителен източник на шум. Този тип двигатели е подходящ за по-малки търговски кораби, много от които се намират в европейските крайбрежни води, въпреки че тези кораби често са оборудвани с контролируема стъпка на винта. Следователно изборът на нискошумни задвижващи машини също трябва да се вземе предвид. При високоскоростните двигатели винаги могат да бъдат монтирани компенсатори на шума. Те са разположени далеч от корпуса на кораба поради техният компактен размер, като по този начин предоставя възможности за намаляване на URN. Те обаче са скъпи, по-малко ефективни и ограничени по отношение на максимална мощност, в сравнение с ниско- и среднооборотни двигатели. Това ограничава тяхната приложимост към малки или специализирани видове кораби.

- *Компенсатор на шума* – изолирането, на която и да е машина от конструкцията на кораба може да намали шума, пренасян от конструкцията. Всички машини и механизми на борда имат компенсатори на шума. Какво представлява

компенсатора на шума? Машинни опори, които използват пружини или еластомерен материал за предотвратяване на предаването на вибрации към носещата конструкция.

- *Намалено изискване за мощност*

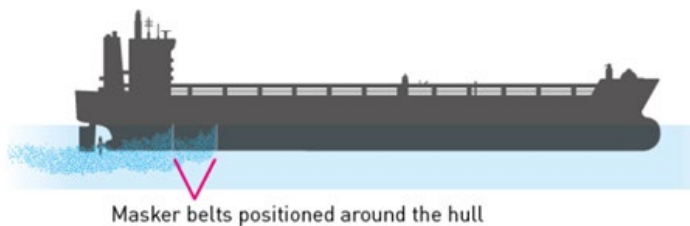
Намаляването на необходимата инсталирана мощност на кораб може косвено да намали неговия URN. Може да се позволи да бъде избран по-малък главен двигател, както и намаляване на тягата, която витлото трябва да осигури, като по този начин се намалява кавитационният шум. Това може да се постигне по няколко начина: като оптимизиране на формата на корпуса за по-ниско съпротивление; използване на въздушно впръскване системи, намалявайки проектната скорост на плавателния съд или добавяйки допълнителни системи за задвижване, за да се намали необходимата тяга на витлото.

- *Завеса с въздушни мехурчета*

Друг подход, който може да се използва за смекчаване на URN, е да се генерира завеса с въздушни мехурчета около задната част на корабния корпус, също често наричан „Masker

системи са

машинния  
кораби.



system“ Такива  
разработени за  
намаляване на  
шум от военноморски  
Подобни системи са

прилагани към някои търговски кораби, по-специално пътнически кораби, за намаляване на бордовия шум [6].

*Фигура 4. Masker system*

*Оперативните мерки* се отнасят до промени в начина на експлоатация на кораба, насочени към намаляване на URN.

- Обрасването на корпуса и винта увеличава съпротивлението на триене и намалява ефективността на задвижването, което също води до влошаване на шумовите характеристики. Редовното почистване помага за облекчаване тези ефекти, като избягване на по-голямото натоварване на тягата върху витлото при работни скорости.

### 3. Заключение

Крайната цел за ефективно смекчаване на URN от корабоплаването изисква бъдеща стратегия за справяне с проблема на множество нива и включването на много заинтересовани страни.

- Разработване на стандартизиран метод за извършване и оценка на измерванията на шума от кораба, като се фокусира върху несигурността, количествено определяне и неговото намаляване и измервания в плитки води. Синтез на съществуваща и текуща работа в унифицирани процедури, които ще помогнат и за улесняване на сравнението между съдове.

- Извършване на по-нататъшни изследвания на несигурността на моделирането на разпространението, особено в плитки води. Това може да включва допълнителни сравнителни случаи, които трябва да бъдат направени с отворен достъп за цялата изследователска общност на URN.

- Разработване на програма за моделиране за целия ЕС, съчетаваща усъвършенствани модели на нивото на източника на шум от кораби с модели на разпространение за създаване на звукови карти за различни съдове, за да се разбере налягането на различните дейности и как те могат да бъдат управлявани.

- Обмисляне разширяването на AIS данните и тяхната наличност или свързването им с други корабни бази данни, за да се улесни по-добре URN измерването и прогнозиране чрез по-лесен достъп до съответните подробности за кораба.

- Извършване допълнителни проучвания, фокусирани върху по-малки (необорудвани с AIS) плавателни съдове, за да се характеризират по-добре техният принос към общия звуков пейзаж.

- Подкрепяне разработването на система за мониторинг в реално време за установяване на източника на подводен шум.

- Насърчаване на дългосрочни програми за мониторинг, за да се увеличи доверието по отношение на наборите от данни за приоритетни видове (напр. информация за праговете на слуха, вокализацията и използването на местообитанията).

- Насърчаване на последователна процедура за докладване и повишаване на осведомеността в близост до изследователската общност, чрез създаване на общ език по темата (напр. приемане на обща класификация за различните видове съдове, единици и информация за докладване).

- Подкрепяне разработването на изследователски програми, които позволяват разработването на валидирани и калибрирани звукови карти, базирани на екологични прагове.

- Насърчаване на използването на инструментите, разработени от регулаторите и националните администрации.
- Повишаване на доверието по отношение на приемането на задължителен регламент, пренасящ научните поуки по отношение на приемане на задължителна регулация.
- Инициране на дейности за повишаване на осведомеността относно URN на различни нива (местно, регионално и международно). Разбиране опасенията на различните заинтересовани страни и как те могат да бъдат част от решението. Ангажираността на собствениците на кораби, корабостроителници и морски доставчици, се разглежда като ключ към успеха на доставката на тихи кораби на достъпна цена.
- Насърчаването на участието на заинтересовани страни от корабоплаването в работни групи, свързани с подводния шум и дефиниране на прагове.
- Работа по създаването на зони за контрол на емисиите на подводен шум, подобно на работата, извършена за въздуха емисии от корабни горива.
- Насърчаване на курсове за обучение, свързани с подводния шум от корабоплаването, предназначени за националните администрации (Администрация по море и околна среда) и национални представители в ИМО.
- Популяризиране на насоките от ИМО на ниво индустрия, включително специални сесии за заинтересованите страни в насоките: дизайнери, корабостроители и оператори на кораби.
- Насърчаване на участието на представители на индустрията (например корабни асоциации) в съответните работни групи (например OSPAR и MSFD).
- Насърчаване на кораби, приемащи обозначения за тих клас, акостиращи в европейските пристанища.
- Разширяване обозначенията на класификационното общество Quiet Class, за да се разграничат различните видове кораби. Това може да доведе, както към по-„постижими“ граници за определени кораби, така и към въвеждане на по-„амбициозни“ цели за други.

#### 4. Литература:

- [1] O. P. Sharma, "United nations convention on the law of the sea," *Ocean Dev. Int. Law*, vol. 26, no. 4, pp. 391–412, 1995, doi: 10.1080/00908329509546068.
- [2] E. Cruz, T. Lloyd, J. Bosschers, F. H. Lafeber, P. Vinagre, and G. Vaz, "Study on inventory of existing policy, research and impacts of continuous underwater noise in Europe," *EMSA Rep. EMSA/NEG/21/2020*, 2021, [Online]. Available: <http://www.emsa.europa.eu/publications/reports/item/4569-sounds.html>.
- [3] J. Bosschers, *Propeller tip-vortex cavitation and its broadband noise*. 2018.
- [4] L. Hermannsen, L. Mikkelsen, J. Tougaard, K. Beedholm, M. Johnson, and P. T. Madsen, "Recreational vessels without Automatic Identification System (AIS) dominate anthropogenic noise contributions to a shallow water soundscape," *Sci. Rep.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–11, 2019, doi: 10.1038/s41598-019-51222-9.
- [5] H. O. Bergesen, G. Parmann, and O. B. Thommessen, "Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic (OSPAR Convention)," *Yearb. Int. Coop. Environ. Dev.* 1998–99, no. May 2002, pp. 122–123, 2019, doi: 10.4324/9781315066547-30.
- [6] A. F. Molland, S. R. Turnock, and D. A. Hudson, *Ship resistance and propulsion: Practical estimation of ship propulsive power*, vol. 9780521760522. 2011.