

CARACTERIZACIÓN Y PATRONES DE EVOLUCIÓN DEL RUIDO MEDIOAMBIENTAL SUBMARINO EN UN ENTORNO DE AGUAS POCO PROFUNDAS EN EL MAR MEDITERRÁNEO

PACS: 43.30.Xm

Sánchez García, Antonio¹; Rodrigo Saura, Francisco Javier¹

¹Sociedad Anónima de Electrónica Submarina (SAES)

Carretera de la Algameca s/n, 30205, Cartagena, España

Tel: 968 508 214

Fax: 968 507 713

Email: a.sanchez@electronica-submarina.com; f.rodrigo@electronica-submarina.com

ABSTRACT

The increasing human activity in the marine environment is entailing a continuous growth in its acoustic ambient noise levels, which affects to the marine fauna wellbeing, sometimes in a severe way. On the other hand, the acoustic science includes a wide range of parameters to quantify the acoustic measurements taking place in the marine areas, which, depending on the analysis to be performed, provide information related with the source, the medium or the data collected by the measurement system. On this basis, this study presents an analysis and selection of parameters, such as OTO, SEL and SPL, which are used to analyze the daily and seasonal variation patterns of the ambient noise during a period of roughly a year, particularly with relation to the guidelines established in the Descriptor 11 of the Maritime Strategy Framework Directive. Measurements have been collected in the Mediterranean Sea, in the coast of the Region of Murcia.

RESUMEN

La creciente actividad humana en el medio marino está generando un continuo incremento en el nivel de ruido acústico ambiente en este entorno, el cual afecta al bienestar de la fauna marina, en ocasiones de forma severa. Por otro lado, la ciencia acústica incluye un amplio rango de parámetros para cuantificar las medidas acústicas que se llevan a cabo en las áreas marinas, los cuales, dependiendo del análisis a ser realizado, proporcionan información relacionada con la fuente, el medio o los datos captados en el equipo de medidas. Sobre esta base, este estudio presenta un análisis y selección de parámetros, como OTO, NES y NPS, que son utilizados para analizar los patrones diarios y estacionales de variación de ruido ambiente durante un periodo de tiempo de aproximadamente un año, en particular con relación a las directrices establecidas en el Descriptor 11 de la Directiva Marco de Estrategia Marina. Las medidas han sido tomadas en el Mar Mediterráneo, en las costas de la Región de Murcia.

INTRODUCCIÓN

El continuo incremento de la actividad humana está conllevando un creciente impacto sobre el medio marino, afectando en particular a la vida marina, tanto a su flora como a su fauna. Entre las actividades con potencial incidencia en el bienestar de la fauna marina se encuentran las relacionadas con la generación de ruido acústico. Diferentes estudios confirman el efecto de esta clase de contaminación en distintas especies marinas [1] y especialmente sobre los mamíferos marinos [2,3], con consecuencias en ocasiones severas [4].

En paralelo a este incremento de la contaminación acústica y con el objetivo de mitigar su impacto, las naciones están desarrollando normativas para controlar las emisiones acústicas en el medio marino. En Europa destaca la Directiva Marco de Estrategia Marina (DMEM), dirigida a la preservación del entorno marino sobre la base de alcanzar el denominado Buen Estado Ambiental (BEA) de las aguas marinas de la UE para el año 2020.

Para evaluar el grado de consecución del BEA, la Directiva establece un total de once descriptores cualitativos, entre los que se encuentra uno (el número 11) referido específicamente a la introducción de energía, incluyendo el ruido submarino, en el entorno marino, para el que se han definido dos indicadores correspondientes a sonidos impulsivos y continuos de baja frecuencia para su seguimiento.

Adicionalmente, diversas organizaciones han comenzado a trabajar en estándares y metodologías para regular las emisiones de ruido submarino así como su medida. En este ámbito, en la actualidad existe un amplio rango de trabajos relacionados con la estandarización de la terminología acústica, cantidades y metodología para describir y medir ruido submarino [5-12], los cuales están contribuyendo de forma sustancial a la creación de un marco común en el ámbito de la UE en el campo de la acústica submarina.

Sobre la base de lo mencionado anteriormente, el presente artículo tiene como objetivos la aplicación de las definiciones de parámetros acústicos referidas previamente a un conjunto de medidas acústicas de buques de superficie y ruido ambiente, con el fin de incrementar la concienciación sobre su uso, dominio de aplicabilidad y explotación de la información proporcionada, así como el análisis de la evolución de los niveles de ruido ambiente en un área marina especialmente ruidosa en el entorno de un puerto comercial y centrado tanto en ruidos impulsivos como continuos de baja frecuencia.

El resto del artículo está organizado de la siguiente forma: En la siguiente sección se describen el área de operación, las características del equipo empleado para capturar los datos acústicos y el conjunto de datos registrados. A continuación se presenta una sección específica relativa a los indicadores acústicos seleccionados para caracterizar las señales acústicas y el resultado de sus análisis. La siguiente sección se centra en los patrones de evolución diarios y estacionales del ruido ambiente en el área analizada. Por último, el artículo finaliza con las conclusiones del estudio.

COLECCION DE DATOS ACÚSTICOS

El área de operaciones donde se ha desplegado el equipo de medidas corresponde a la costa de la Región de Murcia, en concreto a una zona próxima a un puerto comercial, que se caracteriza por elevados niveles de ruido debido a la actividad humana, en especial trabajos en el área portuaria y tráfico marítimo. Esta intensa actividad hace que tenga un importante valor el análisis de medio y largo plazo, mediante un conjunto de parámetros acústicos seleccionados, de los niveles de ruido acústico, como base para estudiar su evolución y sus potenciales impactos en la fauna marina.

Las medidas han sido obtenidas mediante el sistema MIRS fabricado por SAES (Fig. 1), con capacidad de registro y análisis de datos submarinos multi-influencia: acústicos, eléctricos,

magnéticos de presión y sísmicos. MIRS incorpora entre sus sensores un hidrófono omnidireccional calibrado.

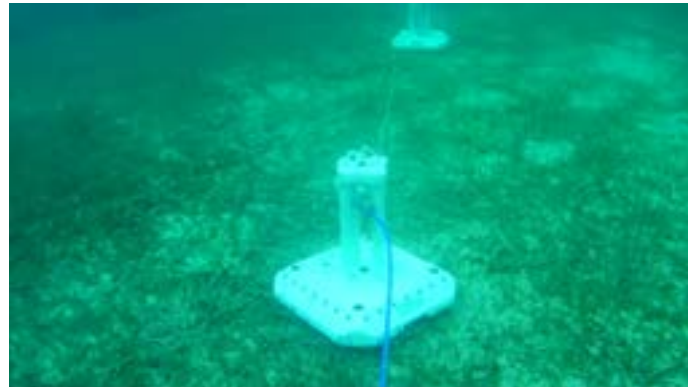


Fig. 1. Unidades submarinas del Sistema de Medidas Multi-Influencia MIRS

Las medidas se han llevado a cabo durante un periodo de cerca de un año, entre Septiembre de 2013 y Julio de 2014. Para la realización de este estudio se han utilizado un subconjunto de 1000 medidas correspondientes a buques mercantes y ruido ambiente.

ANÁLISIS DE INDICADORES ACÚSTICOS

El análisis se ha llevado a cabo sobre un conjunto de indicadores o parámetros acústicos definidos en [5] y [12] a partir de dos conjuntos de datos de medidas correspondientes a buques y ruido ambiente. Estos indicadores corresponden a: Nivel de Presión Sonora (NPS), Raíz Cuadrática Media del Nivel de Presión Sonora (RCM NPS), Nivel de Exposición Sonora (NES), Nivel de Presión sonora Pico-a-Pico (P_{p-p}), Nivel de Presión Sonora de Pico (o Nivel de Presión Sonora Cero-a-Pico) (P_{0-p}) y tercios de octava (OTO) de 12.5 Hz a 6350 Hz.

Cada indicador ha sido calculado para las medidas completas y excepto en el caso del RCM NPS en intervalos de 30 segundos, cuando la medida supera esta duración, y obtenido el valor medio y máximo para el conjunto de intervalos.

En Fig.2 se muestran gráficamente los resultados para un subconjunto de estos parámetros obtenidos a partir de los registros completos de buques y ruido ambiente: NES, RCM NPS y P_{p-p} .

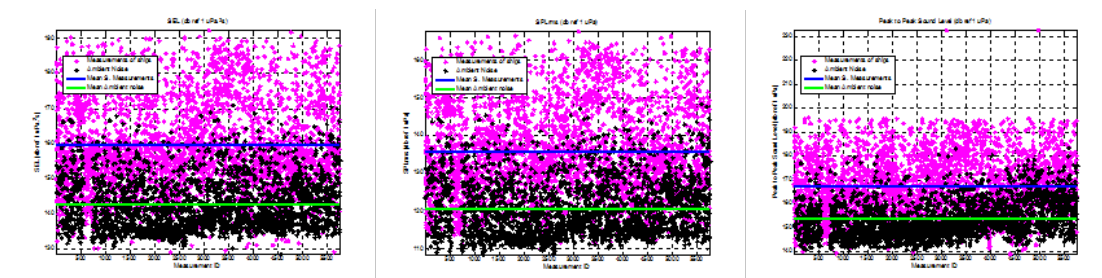


Fig. 2. Resultados de los parámetros NES (izqda), RCM NPS (medio) y P_{p-p} para registros completos de buques y ruido ambiente (dcha).

Los valores globales obtenidos para los diferentes parámetros se muestran resumidos en la Tabla I.

	Medidas completas		Máximos 30 s		Media 30 s	
	Buques	Ambiente	Buques	Ambiente	Buques	Ambiente
NES (dB ref 1 $\mu\text{Pa}^2 \text{ s}$)	159.4	142.6	156.6	137.6	150.8	135.5
RCM NPS (dB ref 1 μPa)	135.8	120.7	162.3	148.2	150.7	141.8
P_{p-p} (dB ref 1 μPa)	167.6	153.6	167.4	153	159.1	148.2
P_{0-p} (dB ref 1 μPa)	162.5	148.7	162.3	148.2	154	143.2

Tabla I. Resumen de los valores obtenidos para los diferentes parámetros acústicos analizados en el estudio

Del análisis de estos resultados se observa que, como es esperable, los valores más bajos corresponden a los valores medios de los parámetros; el valor más alto de NES corresponde a los registros de medida completos; el valor más alto de NPS corresponde al valor de pico-a-pico y en todos los casos, los valores medidos para los buques son mayores que los medidos de ruido ambiente.

En Fig. 3 se presentan los tercios de octava en los que se obtiene el máximo nivel en cada medida y su distribución.

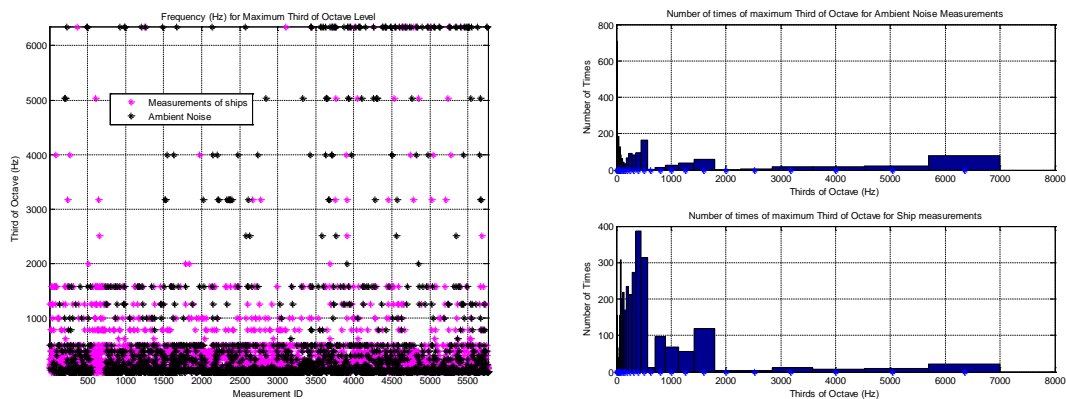


Fig. 3. Tercios de octava de máximo nivel para el conjunto de medidas (izqda) y su distribución (dcha)

Del análisis de estos resultados se deduce que la banda 12,5 – 500 Hz concentra el mayor nivel de energía dentro del rango de frecuencias evaluado. Para medidas de ruido ambiente, el tercio de octava de mayor nivel es el de 12.5 Hz, mientras que para medidas de buques es el de 394 Hz. También es de resaltar el alto nivel de energía existente en el tercio de octava de 6350 Hz

PATRONES DE VARIACIÓN DIARIOS Y ESTACIONALES

Para adaptar el estudio a los requerimientos del Descriptor 11 de la DMEM, el análisis de los patrones de evolución diarios y estacionales de ruido ambiente se divide en ruidos impulsivos y ruidos continuos de baja frecuencia.

Para el estudio de los patrones diarios se han establecido subconjuntos de datos correspondientes a los intervalos temporales: 0-8 h (noche), 8-16 h (mañana) y 16-24 h (tarde). Para el estudio de los patrones estacionales se han creado subconjuntos de datos para cada mes del año, considerando que los datos de diciembre a febrero corresponden a invierno, de marzo a mayo a primavera, de junio a agosto a verano y de septiembre a diciembre a otoño. Existen registros de datos de todos los meses excepto de agosto y algunos intervalos diarios de septiembre, por lo que por razones de comparación los datos de este mes tampoco han sido tenidos en consideración en el estudio.

Ruido impulsivo

Con relación al ruido impulsivo, se han calculado los parámetros NES y NPS ya que se trata de las dos métricas principales para medir el efecto del ruido impulsivo en los mamíferos marinos. El parámetro NES integra toda la energía acústica contenida durante un evento o medida (NES acumulativo) teniendo en cuenta tanto su intensidad como su duración, mientras que el parámetro NPS puede ser considerado como una medida del nivel promedio no ponderado del sonido durante el periodo de medida.

El valor del parámetro NES acumulativo ha sido calculado tanto para los registros completos de ruido ambiente como para estos registros divididos en segmentos de 30 segundos, para los que se ha calculado el valor máximo y promedio. Los resultados de estos procesamientos se muestran en Fig.4 para el periodo de 12 meses y los tres intervalos temporales diarios analizados.

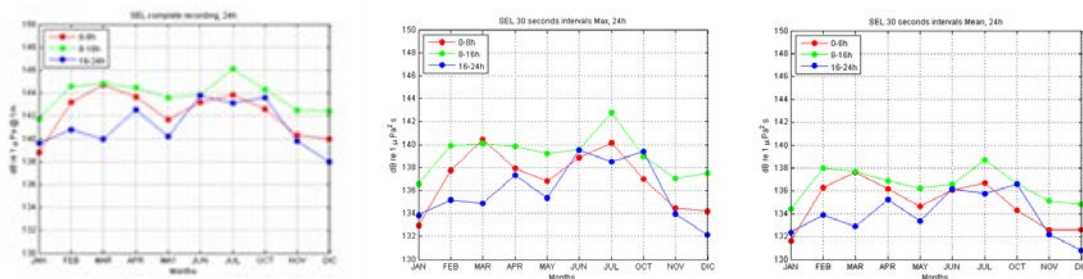


Fig. 4. Valores de NES de los registros completos (izqda) y máximo (centro) y medio (dcha) para los registros divididos en segmentos de 30 segundos de duración

Del análisis de los datos se deduce que los valores más altos de NES se obtienen durante la estación veraniega, coincidiendo con el periodo de mayor actividad en el área portuaria. El intervalo de tiempo con mayor NES corresponde al periodo matinal (8-16 h) y el de menor valor de NES al periodo vespertino (16-24 h).

Con relación al parámetro NPS, se ha calculado el valor RCM para los registros completos y los valores máximo y promedio del NPS pico-a-pico (P_{p-p}) para los registros divididos en intervalos de 30 segundos. Los resultados se muestran en Fig. 5.

Del análisis de estos datos se infiere que globalmente los valores más altos se obtienen en primavera y verano y en el intervalo temporal matinal (8-16 h). Se aprecia en el caso del parámetro P_{p-p} que los valores promedio son bastante similares para las tres franjas horarias analizadas.

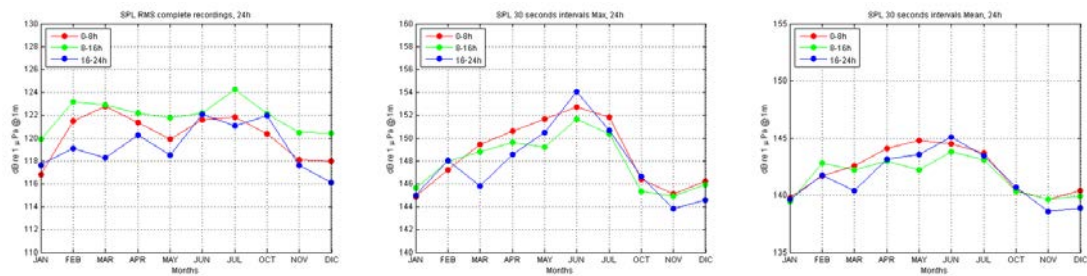


Fig. 5. Valores de RCM NPS de los registros completos (izquierda) y máximo (centro) y medio (derecha) de Pp-p para los registros divididos en segmentos de 30 segundos de duración

Es de resaltar que el grupo de trabajo establecido por la CE para el desarrollo del Descriptor 11 (TSG Noise), en base a estudios recientes sobre perturbaciones sobre mamíferos marinos, ha propuesto un valor de NES = 140 dB re 1 μPa² como umbral de perturbación significativa debida a múltiples sonidos explícitamente impulsivos, y un valor de NPS = 130 dB re 1 μPa como umbral para perturbación significativa del comportamiento debida a sonidos de tipo no pulsado de corta duración [13].

Para el parámetro NES se han obtenido valores promedio de 142.39 dB para los registros completos y de 135.12 dB para el caso de los registros divididos en intervalos de 30 segundos. Estos valores están próximos o exceden los límites recomendados por el TSG Noise.

Para el parámetro NPS se han obtenido valores promedio de 120.48 dB de valor RCM para los registros completos y de 141.8 dB para intervalos de 30 segundos de los registros en el caso de P_{p-p}, que exceden el límite recomendado por el TSG Noise.

Sobre la base de los altos niveles medidos para los indicadores NES y NPS, se puede concluir que el área bajo estudio puede ser catalogada como de riesgo potencial alto para los mamíferos marinos.

Con relación al ruido impulsivo, se ha llevado a cabo asimismo un estudio preliminar sobre la presencia de sonidos transitorios en el área bajo estudio, no habiéndose detectado una evidencia clara de la presencia de los mismos como se refleja en Fig.6, donde si puede ser observado un alto nivel de ruido a bajas frecuencias.

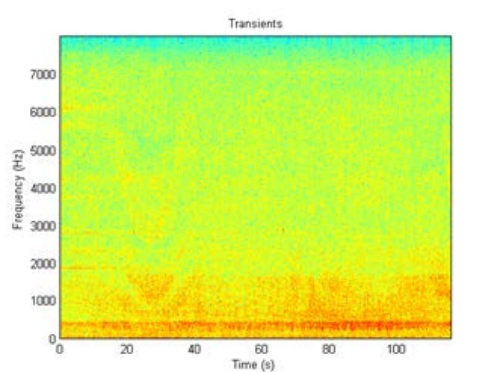


Fig. 6. Análisis de sonidos transitorios en el área bajo estudio

Ruido continuo

Con relación al ruido continuo y siguiendo las recomendaciones del Descriptor 11 de la DMEM se han calculado los valores correspondientes a los tercios de octava de 62.5 Hz y 125 Hz. Los valores promedio para el conjunto de casos estudiados se presentan en Fig. 7.

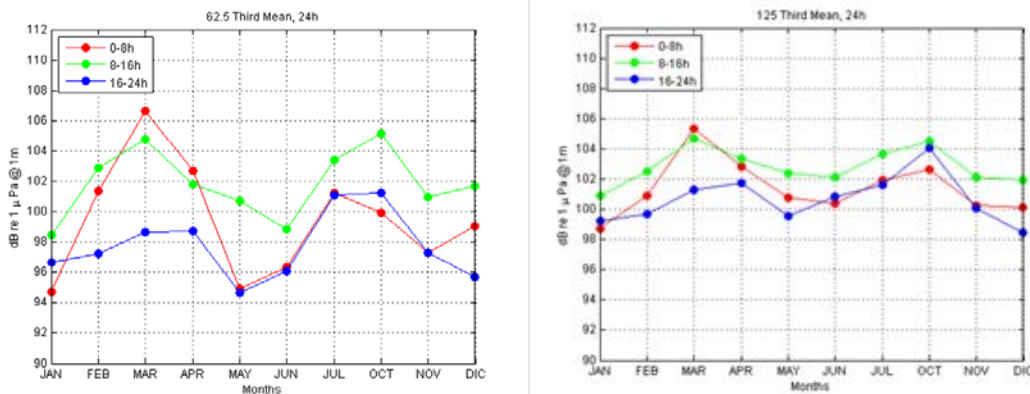


Figura 7. Valores promedio para los tercios de octava de 62.5 Hz y 125 Hz

Para los dos tercios de octava, los valores más altos se obtienen en primavera (en torno a marzo) y otoño (en torno a octubre). En el caso de los intervalos diarios, los mayores valores se obtienen durante el periodo matinal (8-16 h) y los valores más bajos durante el periodo vespertino (16-24 h).

Se obtienen valores promedio globales de 99.67 dB y 101.62 dB para los tercios de octava de 62.5 Hz y 125 Hz respectivamente. Si comparamos estos valores con los ampliamente referenciados en la literatura correspondientes a las curvas de ruido ambiente submarino de Urick [14] y Wenz [15], considerando condiciones ambientales iguales o peores a los valores promedio en la zona de medidas, concluimos que los niveles de ruido ambiente obtenidos son en promedio 20 dB más altos que los valores en [14] y 10 dB más altos que los valores en [15]. También es de resaltar que respecto a estas referencias, los valores para el tercio de octava de 125 Hz no decaen en relación a los valores de la octava de 62.5 Hz sino que se incrementan ligeramente.

Como consecuencia, los niveles medidos de ruido ambiente submarino son significativamente mayores que los reflejados en la literatura con el evidente potencial nocivo sobre la fauna marina.

CONCLUSIONES

El presente estudio incluye un análisis de la aplicación efectiva sobre señales acústicas de buques y de ruido ambiente de los parámetros o indicadores más ampliamente referenciados con relación a medidas en el ámbito submarino, los cuales permiten la caracterización de las medidas acústicas, mostrando una vía para analizar campañas de monitorización acústica. Los resultados del análisis muestran resultados coherentes con las características de las señales medidas. En particular, el análisis de los tercios de octava muestra que los mayores niveles de energía acústica se obtienen para el tercio de octava de 12.5 Hz en el caso de ruido ambiente y el tercio de octava de 397 Hz en el caso de buques.

Adicionalmente, se muestran los resultados del análisis de los patrones de evolución diarios y estacionales del ruido ambiente en un entorno de aguas poco profundas, con presencia de numerosas fuentes de ruido antropogénico por su proximidad a un entorno portuario. Siguiendo directrices de la DMEM el análisis se centra en la evolución de los niveles de ruido impulsivo y ruido continuo. Los resultados obtenidos en ambos casos son coherentes con el incremento de actividad en el entorno portuario, en particular durante el periodo veraniego y en el periodo matinal a lo largo del día (intervalo 08-16 h).

Del resultado de los análisis de los parámetros NES y NPS relacionado con ruidos de tipo impulsivo, que están cercanos o superan los umbrales de perturbación definidos por el TSG Noise (DMEM) para los mamíferos marinos, y de los niveles de ruido continuos medidos para los tercios de octava centrados en 62.5 y 125 Hz, que reflejan un incremento significativo con relación a los valores promedio referenciados en la literatura para estos intervalos de frecuencia, se concluye que los altos niveles obtenidos en todos los casos representan un riesgo claro de resultar nocivos sobre la fauna marina en el área de estudio

REFERENCIAS

- [1] Normandeau Associates, Inc., "Effects of Noise on Fish, Fisheries and Invertebrates in the U.S. Atlantic and Arctic from Energy Industry Sound-Generation Activities. A Workshop Report for the U.S. Dept. of the Interior. Bureau of Ocean Energy Management. Contract # M11PC00031. 72 pp. plus Appendices", (2012)
- [2] C.H Hastings. "Coming to terms with the effects of ocean noise on marine mammals". Acoustics today, volume 4(2), pp. 22-34, (2008)
- [3] W.J. Richardson, C.R. Green, C.I. Malme and D.H. Thomson. "Marine mammal and noise", Academic Press, Inc., (1995)
- [4] A. Fernández, J.F. Rodríguez, A. Espinosa de los Monteros, P. Herráez, P. Castro, J.R. Jaber, V. Martin and M. Arbeló. "'Gas and fat embolic syndrome' involving a mass stranding of beaked whale (family Ziphiidae) exposed to anthropogenic sonar signals". Veterinary Pathology, volume (42), pp. 46-457, (2005)
- [5] TNO-DV 2011 C235 Standard for measurement and monitoring of underwater noise, Part I: physical quantities and their units. September 2011.
- [6] TNO-DV 2011 C251 Standard for measurement and monitoring of underwater noise, Part II: procedures for measuring underwater noise in connection with offshore wind farm licensing. September 2011
- [7] European Marine Strategy Framework Directive Good Environmental Status (MSFD-GES). Report of the Technical Subgroup on Underwater Noise and other forms of energy. 27 February 2012.
- [8] Technical Guidance on: Underwater Sound in Relation to Dredging. World Organization of Dredging Associations (WODA). June 2013.
- [9] European Marine Strategy Framework Directive. Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas. Part I. Executive summary and recommendations. MSFD Technical Subgroup on Underwater Noise. November 2013.
- [10] European Marine Strategy Framework Directive. Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas. Part II. Monitoring Guidance Specifications. MSFD Technical Subgroup on Underwater Noise November 2013.
- [11] European Marine Strategy Framework Directive. Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas. Part III. Background Information and Annexes. MSFD Technical Subgroup on Underwater Noise. November 2013.

[12] Good Practice Guide No. 133. Underwater Noise Measurement. National Physical Laboratory (NPL). (2014).

[13] R.P.A Dekeling, M.L. Tasker, A.J. Van der Graaf, M.A. Ainsle, M.H. Anderson, M. Andre, J.F. Borsani, K. Brensing, M. Castellote, D. Cronin, J. Dalen, T. Folegot, R. Leaper, J. Pajala, P. Redman, S.P. Robinson, P. Sigray, G. Sutton, F. Thomsen, S. Werner, D. Wittekind, J.V. Young. Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas, Part III: Background Information and Annexes. JRC Scientific and Policy Report EUR 26556 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2014, doi: 10.2788/2808.

[14] R.J. Urick. "Principles of Underwater Sound", 3rd Edition, McGraw-Hill, (1983)

[15] Wenz M. "Acoustic ambient noise in the ocean: Spectra and sources". J. Acoust. Soc. Am, 34, pp. 1936-1956 (1962).