

Stanisław Duziak

Uniwersytet Gdański
Wydział Oceanografii i Geografii
81-378 Gdynia, al. Marszałka Piłsudskiego 46
e-mail: sduziak@op.pl

SZUMY PODWODNE MAŁEJ JEDNOSTKI

STRESZCZENIE

Artykuł przedstawia wyniki badań *in situ* przeprowadzone na akwenu Zatoki Gdańskiej w celu pomiaru i analizy szumów generowanych przez jednostkę morską. Otrzymane wyniki są wstępem do opracowania metod opisu dźwięków generowanych przez jednostki, a także fazy ich przejścia względem obiektu pomiarowego.

Słowa kluczowe:

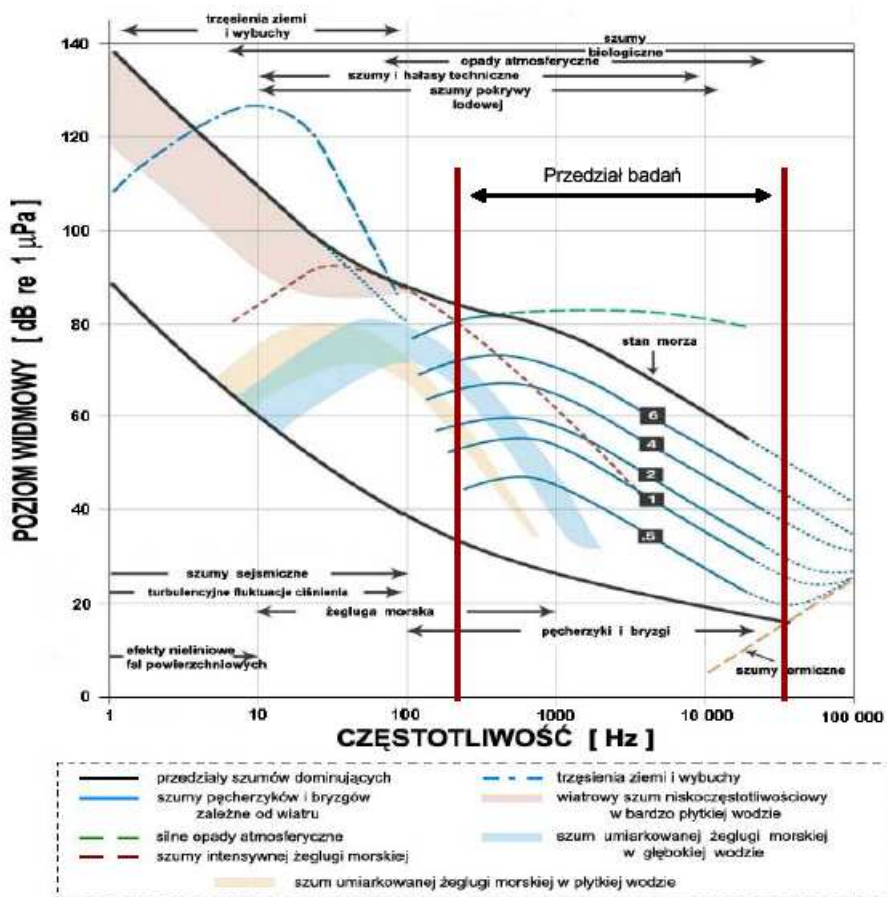
szumy morza, hydroakustyka, identyfikacja.

WSTĘP

Szumy otoczenia w morzu stanowią złożony proces, który jest połączeniem wielu składowych źródeł, a te można podzielić na dwie główne grupy: pochodzenia naturalnego i technicznego [17, 19]. Tło naturalne związane jest z procesami fizycznymi i biologicznymi zachodzącymi w akwenach morskich. Do głównych źródeł szumów naturalnych zaliczamy: szumy wywołane falowaniem, opadami deszczu, oddziaływaniem wiatru na powierzchnię wody, kawitacją pęcherzyków w wodzie, pękaniem bryły lodowej, ruchami płyt tektonicznych, a także dźwiękami wydawanymi przez zwierzęta morskie, takie jak ryby i bezkręgowce [3]. W tło szumów wmieszane są także dźwięki pochodzenia technicznego. Do głównych ich źródeł zaliczamy transport morski oraz infrastrukturę portową, głównie prace związane z funkcjonowaniem portów, ale także z budową i pracą ferm wiatrowych, wież wiertniczych itp. [4, 16].

Wiele dźwięków możemy jednoznacznie określić jako szумы. Charakteryzują się one bardzo bogatym i chaotycznie zmiennym widmem. W jednym i drugim przypadku szумы mogą być przydatne lub powodować zakłócenia w pracy systemów hydroakustycznych.

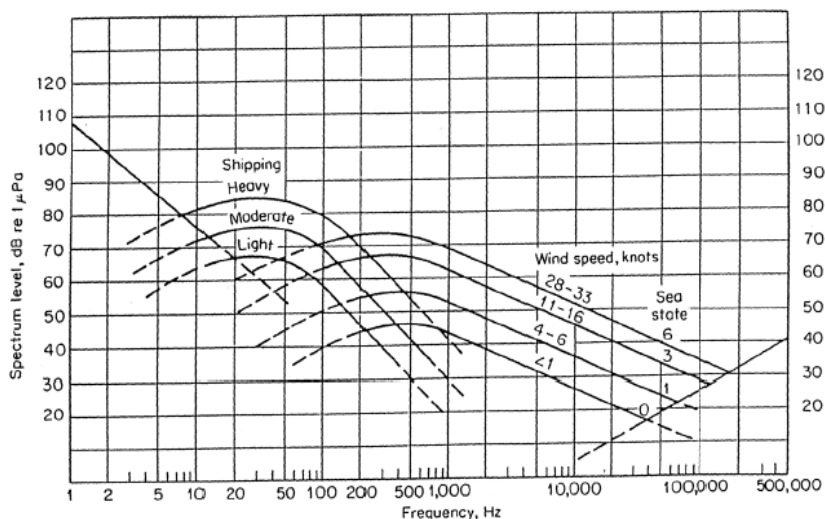
Fundamentalną pracą do dziś cytowaną powszechnie przy klasyfikacji szumów morza jest publikacja Wentza wydana 1962 roku (oparta na badaniach i analizie Knudsen 1948), która uwzględnia większość źródeł szumów morza. Na schemacie, jaki został przedstawiony u Wentza, wyszczególniono poziom widmowy szumów pochodzenia naturalnego i technicznego.



Rys. 1. Rozdział gęstości widmowej mocy szumów

Źródło: na podstawie G. M. Wentz, *Acoustic ambient noise in the Ocean: Spectra and Sources*.

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz analizy zebranego materiału opisał on oddziaływanie poszczególnych składowych na generowane szumów w akwenach morskich. Jako główną przyczynę ich powstawania uznał oddziaływanie wiatru na powierzchnię wody.



Rys. 2. Krzywe Knudsena w odniesieniu do natężenia ruchu statków

Źródło: <http://usna.edu/Users/physics/ejtuchol/Chapter11.pdf> krzywych Wenzla.

Tak jak już wspomniano, jedną z przyczyn generowania szumu w akwenach morskich jest transport morski. Wraz ze wzrostem intensywności transportu morskiego rośnie poziom szumów, szczególnie na trasach żeglugowych i w okolicy większych portów, co jest bardzo zauważalne na półkuli północnej. Ruch statków daje rozproszony i niemal ciągły hałas na bardzo rozległych obszarach. Badania [1] wykazały, że poziom szumów na półkuli północnej wzrósł o 3 dB na oktawę w ciągu ostatnich sześćdziesięciu lat. Natomiast w przedziale częstotliwości w zakresie 10–150 Hz wzrósł nawet o 15 dB w przedziale lat 1950–1975 [8, 15].

STATEK JAKO ŹRÓDŁO SZUMÓW

Źródłem szumów statku jest silnik wraz z jego elementami, który generuje ponad 90% energii akustycznej [7]. Na szумы te nakładają się również dźwięki pochodzące z różnych źródeł, takich jak kawitacja śruby napędowej, drgania wału, rezonans elementów stalowych i pompy, silniki pomocnicze, generatory, kompresory oraz wiele innych elementów zabudowanych na pokładzie statku. Powyższe elementy z wyjątkiem śruby napędowej generują szумы do wody poprzez kadłub statku. Podstawowym źródłem tych szumów jest wolnoobrotowy silnik Diesla. Dodatkowe hałasy i drgania generuje wał napędowy wraz z łożyskami, w których jest umiejscowiony i osadzony na podporach.

Analizy szumów dużych statków handlowych, z uwzględnieniem stosowania określonych, paliw dokonał Donald Ross. Tematyką rozprzestrzeniania się dźwięku dużych jednostek wokół statku zajął się także Averson [2], a dokładniejszego opisu ruchu statków i ich szumów dokonał McKenn [8]. Wykorzystał on system automatycznej identyfikacji statków (AIS) w celu pomiaru i analizy szumów wytwarzanych przez statki handlowe w czasie przejścia przez tor wodny. Zabieg ten pozwolił mu na przypisanie poszczególnych źródeł szumów różnego typu statkom pływającym na trasie ich przejścia.

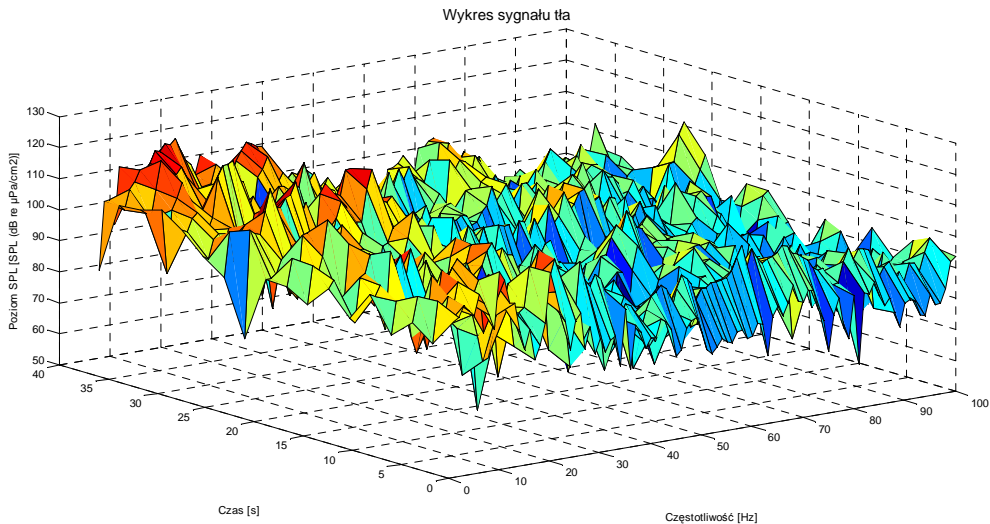
Niewiele jest badań dotyczących generowania szumów przez małe jednostki. Podczas gdy takie aspekty, jak moc natężenia szumów generowanych przez statki w przypadku dużych jednostek uwzględniana jest już w fazie projektowej, tak na problem ten nie zwraca się w ogóle uwagi ani na etapie projektowania ani w czasie budowy małych jednostek.

POMIARY I ANALIZA

Pomiary przeprowadzono na akwenu Zatoki Gdańskiej w pobliżu Gdyni. Akwen ten charakteryzuje się niewielkimi głębokościami dochodzącymi maksymalnie do 118 metrów (w rejonie pomiarów do 12 metrów).

1500 obr/min. Do zmiany przełożeń naprzód — wstecz służy sprzęgło nawrotno-redukcyjne o przełożeniu:

- 1:3,07 — przy biegu naprzód;
- 1:2,96 — przy biegu wstecz.

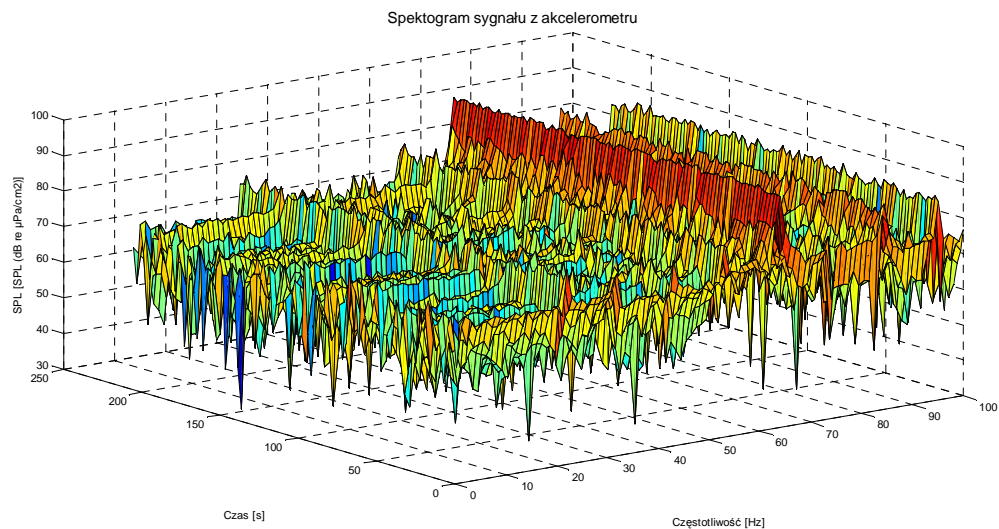


Rys. 4. Spektrogram tła szumów akwenu pomiarowego przed rozpoczęciem pomiaru

Źródło: opracowanie własne.

Na jednostce wykorzystano zespół prądotwórczy ZE 266/54 wytwarzający napięcie 400/231V — 150 obr/min, składający się z silnika spalinowego o mocy $N_e = 50\text{KM}$ i obrotach $n = 1500$ obr/min wraz z prądnicą typ GCPf84c/7 o mocy 45 kVA. Do przekazania napędu wykorzystano śrubę napędową nastawną o zmiennym skoku firmy HUNDESTED (Dania) o średnicy $D = 1020$, liczbie skrzydeł $z = 3$ i kierunku obrotów w prawo.

Przed rozpoczęciem zasadniczych pomiarów dokonano zamocowania na obudowie pokrywy zaworów silnika jednego akcelerometru firmy Brüel & Kjaer, zarejestrowano przebieg drgań silnika, a wyniki pokazano na rysunku 5.



Rys. 5. Spektrogram sygnału zarejestrowanego przez akcelerometr umiejscowiony na silniku
Źródło: opracowanie własne.

Do pomiaru szumów tła i szumów generowanych przez jednostkę wykorzystano hydrofon niskoszumowy typu 8106 Brüel & Kjaer GmbH o czułości odbioru 173 dB re 1V/ μ Pa i zakresie pracy od 7 Hz do 80 kHz.



Fot. 1. Układ pomiarowy

Źródło: fot. S. Duziak.

W czasie pomiarów warunki pogodowe były dobre, siła wiatru nie przekraczała 2 m/s, nie występowały opady atmosferyczne, a także ze względu na niewielką siłę wiatru nie było falowania. Próbom nie towarzyszył żaden ruch statków, który mógłby powodować zakłócenia.

Do analizy sygnałów zarejestrowanych przez hydrofon i akcelerometr wykorzystano podane poniżej wzory [6, 12, 13, 14].

Częstotliwości podstawowe:

$$\text{zespołu prądotwórczego} \quad f_0 = \frac{n}{60} \quad (1)$$

$$\text{silnika} \quad f_0 = \frac{n}{60} \quad (2)$$

$$\text{wału korbowego} \quad f_n = k * f_0 \quad (3)$$

$$\text{cylindrów} \quad f_c = \frac{k*n}{2.60} \quad (4)$$

$$\text{wału głównego} \quad f_w = \frac{k*f_0}{2*3.07} \quad (5)$$

$$\text{śruby} \quad f_s = 4 * \frac{k*f_0}{3.07} \quad (6)$$

$$\text{zaworów} \quad f_z = \frac{k*z_p*n*z_z}{m*60} \quad (7)$$

gdzie:

n — obroty silnika;

k — stała harmoniczna 1, 2, 3, n ;

m — silnik dwu- lub czterokusowy;

z_p — liczba tłoków (6);

z_z — liczba zaworów (4).

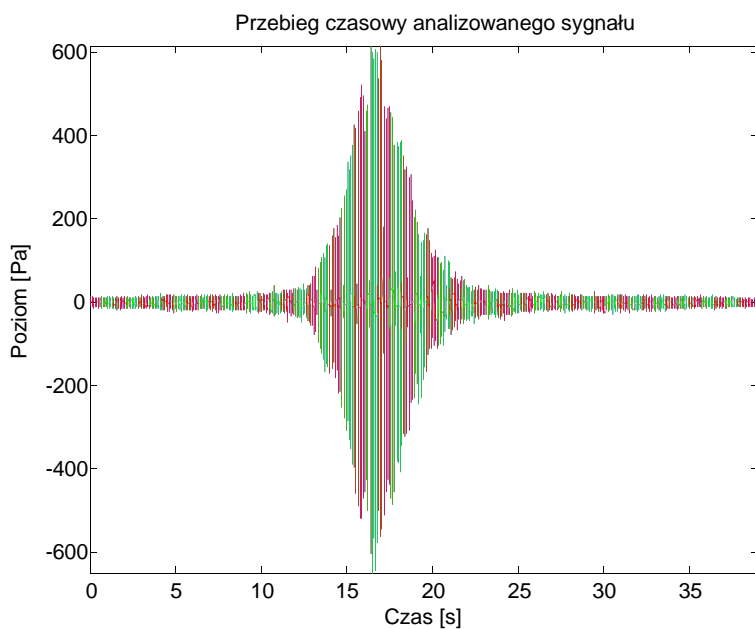
Analizie poddano szumy wygenerowane przez jednostkę dla prędkości 4.4 w, przy obrotach silnika 750 obr/min. Na podstawie wzorów policzono następujące wartości harmoniczných częstotliwości:

— zespołu prądotwórczego: 25, 50, 75 [Hz];

— silnika: 12.5 [Hz];

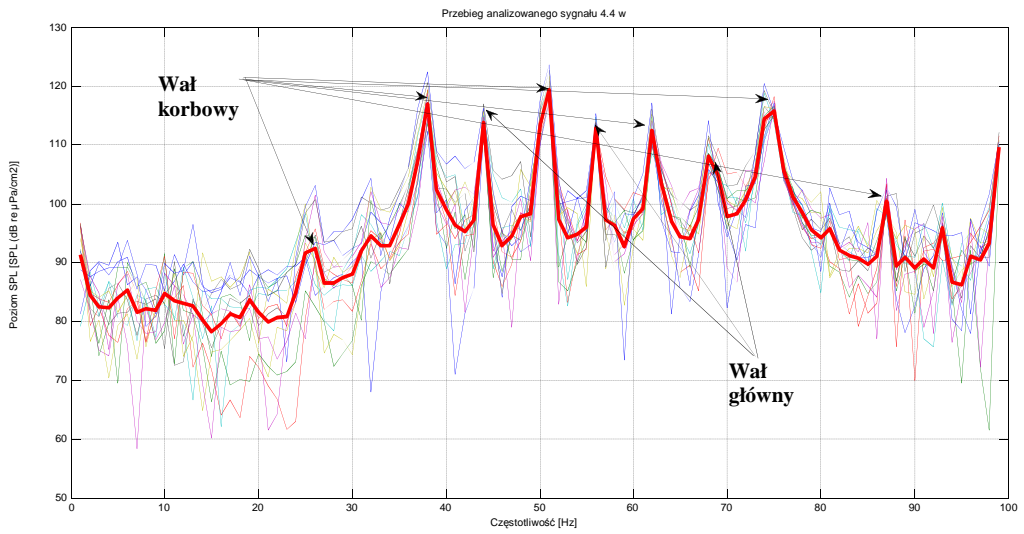
- wału korbowego: 12.5, 25, 37.5 [Hz];
- cylindrów: 288.46, 576.9, 865.38 [Hz];
- wału głównego: 2.036, 4.07, 6.11 [Hz];
- śruby: 16.27, 32.57, 48.86 [Hz];
- zaworów: 75, 150, 225 [Hz].

Analizę przeprowadzono dla jednostki w czasie podejścia do hydrofonu (pomiędzy 0–10 s), mijania go (12–22 s) i przejścia poza hydrofon (30–40 s).



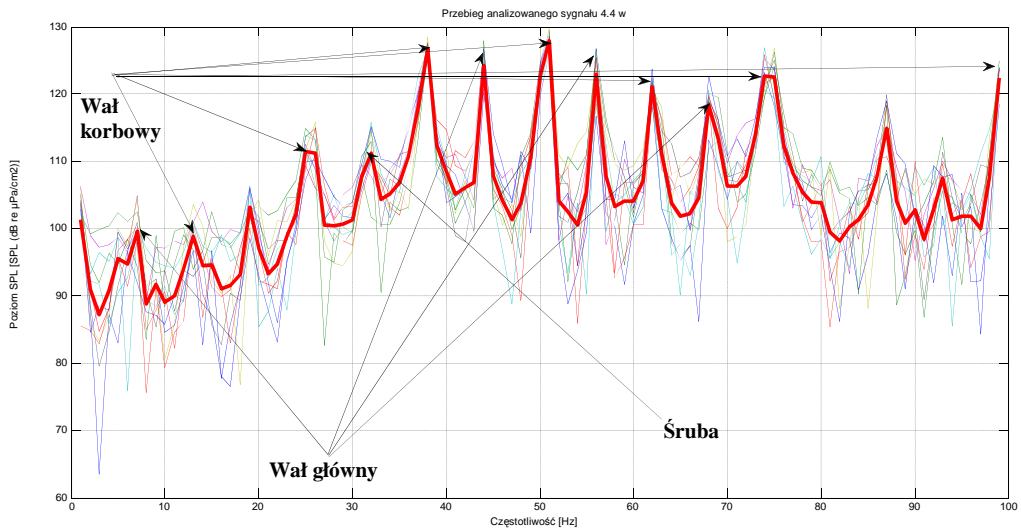
Rys. 6. Przebieg analizowanego sygnału

Źródło: opracowanie własne.



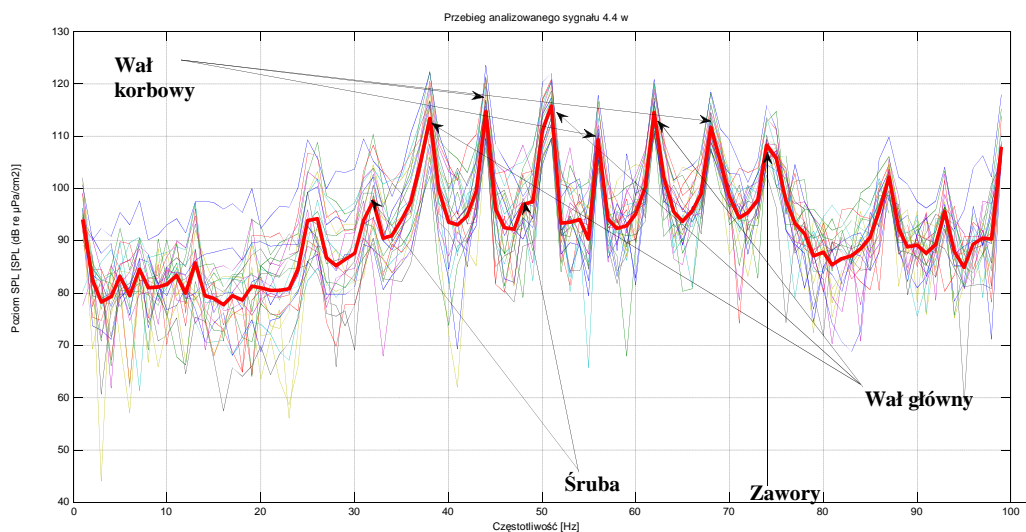
Rys. 7. Widmo sygnału dla 4.4 w, przy 750 obr/min i przedziale czasu 0–12 s

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 8. Widmo sygnału dla 4.4 w, przy 750 obr/min i przedziale czasu 14–22 s

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 9. Widmo sygnału dla 4.4 w, przy 750 obr/min i przedziale czasu 25–40 s

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie powyższych danych widzimy, iż w czasie podejścia jednostki do układu pomiarowego widoczne są składowe harmoniczne dla częstotliwości podstawowej silnika oraz wału korbowego. Pomiędzy 12 a 22 s w dalszym ciągu widoczne są składowe częstotliwości podstawowej oraz wału korbowego, natomiast po minięciu układu pomiarowego wyraźnie widać częstotliwości pracy wału korbowego, ale także zaworów, wału głównego i śruby napędowej.

Na podstawie zarejestrowanych częstotliwości pracy elementów składowych statku możemy określić tak zwaną sygnaturę statku, a także to, w jakiej fazie przejścia znajduje się dana jednostka. Takie same wnioski wyciągniemy po analizie szumów dla prędkości 6 w, 7 w i 7.7 w, zarejestrowanych w czasie wykonywania tych pomiarów.

WNIOSKI

Mając zarejestrowane dane jednostki, jesteśmy w stanie określić nie tylko pracę jej poszczególnych elementów składowych, takich jak silnik, wał korbowy,

wał napędowy czy też śruba napędowa, ale także fazę przejścia jednostki względem układu pomiarowego, mimo że badania przeprowadzono w płytkim akwenie, który charakteryzuje się specyficznymi szumami i warunkami propagacji.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Andrew R. K., Howe B. M., Mercer J. A., *Ocean ambient sound: Comparing the 1960s with the 1990s for a receiver off the California coast*, 'Acoustical Society of America', 2002, 3(2).
- [2] Arveson P. T., Vendittis D. J., *Radiated noise characteristics of a modern cargo ship*, 'Acoustical Society of America', 2000, 107, pp. 118–129.
- [3] Cato O., McCauley R. D., *Australian Research in Ambient Sea Noise*, 'Acoustics' 2002, Vol. 30, No 1, Australia.
- [4] Chapman R., Price A., *Low frequency ambient noise measurements with a multi-element volume array*, 'Underwater Noise Measurements and Mitigation', 2011.
- [5] Dalberg E., Lennartsson R., Levonen M., Person L., *Properties of acoustic ambient noise in the Baltic Sea*, Proceedings of the International Conference 'Underwater Acoustic Measurements: Technologies & Results', Creta 2005.
- [6] Gloza I., *Vibration and radiated noise of a small ship*, 'Hydroacoustics', 2008, Vol. 11, pp. 87–96.
- [7] Green D. M., DeFerrari H. A., McFadden D., Pearse J. S., Popper A. N., Richardson W. J., Ridgway S. H., Tyack P. L., *Low-frequency sound and marine mammals: current knowledge and research needs* (NRC report), Washington, D.C.: National Academy Press, 1994.
- [8] McKenna M. F., Ross D., Wiggins S. M., Hildebrand J. A., *Underwater radiated noise from modern commercial ships*, 'Acoustical Society of America', 2012, 131 (1).
- [9] Klusek Z., *Ambient sea noise in the Baltic Sea — review of investigations*, Gdańsk 2011.
- [10] Klusek Z., *Warunki propagacji dźwięku w Południowym Bałtyku*, PAN, Sopot 1990.
- [11] Klusek Z., Lisimenka A., *Are the Knudsen curves acceptable in the Baltic Sea?*, PAN, Sopot 2006.

- [12] Kozaczka E., Domagalski J., Grelowska G., Gloza I., *Identification of hydroacoustic waves emitted from floating units during mooring tests*, 'Polish Maritime Research', 2007, Vol. 14, No 4(54), pp. 40–46.
- [13] Kozaczka E., Domagalski J., *Identification of hydroacoustic wave sources of ship in motion*, 'Polish Maritime Research', 2010, Vol. 17, No 4(67), pp. 64–71.
- [14] Kozaczka E., Domagalski J., Gloza I., *Identification of the underwater noise produced by ships by means of intensity method*, 'Polish Maritime Research', 2010, Vol. 17, No 3(66), pp. 26–36.
- [15] McDonald M. A., Hildebrand J. A., Wiggins S. M., Ross D., *A 50 year comparison of ambient ocean noise near San Clemente Island: A bathymetrically complex coastal region off Southern California*, UC San Diego Postprints, San Diego 2008.
- [16] Robinson P. S., Theobald P. D., Lepper P. A., *The noise radiated by marine piling for the construction of offshore wind farms*, 'Underwater Noise Measurements and Mitigation', 2011.
- [17] Urick P. J., *Ambient noise in the sea*, Department of The Navy, Washington, D.C. 20362, 1984.
- [18] Vijayabaskar V., Rajendran V., *Analysis and modeling of wind dependence of ambient noise in shallow water of Arabian Sea*, 'European Journal of Scientific Research', Chennai 2011.
- [19] Wenz G. M., *Acoustic ambient noise in the Ocean: Spectra and Sources*, 'Acoustical Society of America', 1962.

UNDERWATER NOISE IN A SMALL VESSEL

ABSTRACT

The paper presents the results of investigations carried out in the Bay of Gdańsk in order to measure and analyze noise generated by a maritime vessel. The results obtained are the initial stage in developing methods for describing sounds generated by vessels, as well as phases of their passage with regard to the object measured.

Keywords:

sea noises, hydroacoustics, identification.