

**Stanisław Bednarz\*, Roman Urba\*\***

## **DRGANIA MASZYN ROBOCZYCH URZĄDZEŃ WIERTNICZYCH A BEZPIECZEŃSTWO PRACY\*\*\***

### **1. WSTĘP**

Urządzenia wiertnicze w zależności od wyposażenia i usytuowania w nich maszyn i podzespołów roboczych w czasie całodobowej pracy są obiektami emisji różnej wielkości drgań mechanicznych, stanowiąc (przy niektórych operacjach wiertniczych) zagrożenie zdrowia pracowników wiertni. Urządzenia wiertnicze eksploatowane w kraju to układy pracujące w większości na zasadzie ruchu obrotowego; występują w nich przepływy dużych ilości energii.

Wyciągi wiertnicze, silniki spalinowe, stoły wiertnicze, pompy płuczkowe oraz agregaty prądotwórcze to mechanizmy, które w czasie pracy wytwarzają określony rodzaj drgań mechanicznych. Często przekraczają one poziom dopuszczalnych wartości obowiązujących w tym zakresie norm i przepisów prawnych, co naraża niekiedy pracownika obsługującego urządzenie na chorobę zawodową. Powstające w czasie pracy maszyn drgania zazwyczaj wpływają niekorzystnie nie tylko na poszczególne elementy składowe zespołów maszynowych, ale także na całość konstrukcji urządzenia wiertniczego. Drgania powodowane są głównie pracą zespołów napędowych i pomocniczych na podbudowie i na platformie urządzenia, pracą stołu wiertniczego, drganiami przewodu oraz pracą napędu wyciągu wiertniczego [5].

Problem drgań maszyn wiertniczych ma zazwyczaj aspekt techniczny i zdrowotny. Aspekt techniczny związany jest z trwałością i niezawodnością poszczególnych maszyn roboczych w przewidywanym okresie eksploatacji, zaś zdrowotny dotyczy zagrożenia zdrowia pracowników obsługujących poszczególne maszyny urządzenia wiertniczego oraz dopuszczalnych wielkości wibracji na stanowiskach pracy.

---

\* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

\*\* Instytut Nafty i Gazu, Oddział Krosno

\*\*\* Praca wykonana częściowo w ramach badań statutowych Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH nr 11.11.190.01

Źródłem drgań mechanicznych są więc ruchome maszyny robocze urządzenia wiertniczego pracujące na zasadzie ruchu obrotowego lub też posuwisto-zwrotnego oddziałujące poprzez podesty na całe ciało pracownika (tzw. drgania o oddziaływaniu ogólnym) podczas wykonywania codziennej pracy obsługi wiertnicy. Stwierdzono bowiem, że biomechaniczna reakcja pracownika na drgania zależy od trzech podstawowych kierunków działającego bodźca wibracyjnego ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) i jest zróżnicowana w zależności od częstotliwości drgań. Charakter tego zróżnicowania został uwzględniony w tzw. ważonej częstotliwości wartości przyspieszenia drgań mechanicznych  $a_w$  dla każdego kierunku, którą stosuje się w pomiarach wibracji na stanowiskach pracy i w ocenie drgań maszyn przy zaszeregowaniu ich do określonych kategorii bezpieczeństwa [1, 2].

Krajowe kryteria oceny drgań maszyn w aspekcie zaszeregowania ich do określonych kategorii bezpieczeństwa ujmuje także norma PN-90/N-01358: *Drgania. Metody pomiarów i oceny drgań maszyn pod względem bezpieczeństwa i higieny pracy* [1] nawiązując do [2]. Z uzyskanych informacji wynika, że kryteria dotyczące różnych klas i typów maszyn będą podawane w odpowiednich częściach normy ISO 7919 w miarę ich opracowywania.

O aktualności i ważności problematyki oceny drgań maszyn roboczych w aspekcie bezpieczeństwa pracy oraz diagnostyki technicznej będącej narzędziem eksploatacji urządzeń świadczy szeroki zakres prac naukowo-badawczych i wdrożeniowych. Znormalizowane metody pomiarów drgań oraz oceny drgań pod kątem ich oddziaływania na obsługę, otoczenie, na maszyny oraz dla celów diagnostyki urządzeń są przedmiotem wielu standardów Unii Europejskiej. Wskutek drgań powstają niepożądane zjawiska w układach mechanicznych maszyn, drgania mają również szkodliwy wpływ na organizm człowieka i wywołują hałas zagrażający zdrowiu obsługi i uciążliwy dla otoczenia. W artykule przedstawiono podstawy do zaszeregowania maszyn wiertniczych do określonych kategorii bezpieczeństwa.

## 2. DRGANIA MECHANICZNE URZĄDZEŃ WIERTNICZYCH

Urządzenie wiertnicze, jako obiekt środowiska, składa się z dwóch podsystemów połączonych ze sobą więzami. Jeden podsystem to napęd, wyciąg wiertniczy, pompy, stół wiertniczy, narzędzia wierzące, natomiast drugi to rama urządzenia, podbudowa i pomosty robocze, podesty, budynki. W więzach występują wymuszenia siłowe (zmiennie obciążenia haka wiertniczego) i kinematyczne (pompy tłokowe, sita wibracyjne), których wpływ na drgania zależy od częstotliwości i podatności układu na wymuszenia. Siły wymuszające zatem to te, które pochodzą od źródła drgań i działają na podsystem w układzie urządzenia wiertniczego. Drgania maszyn przemieszczają się poprzez fundamenty i konstrukcje do sąsiednich obiektów i urządzeń z układu stołu obrotowego i wielokrążka ruchomego na podłogę i podest w maszynie wiertniczym oraz pomost pomocnika wieżowego [6]. Do drgań kinematycznie wymuszonych należą drgania powstające podczas pracy pomp płuczkowych i sit wibracyjnych. W konstrukcjach maszyn i urządzeń występują także drgania samowzbudne. Energia potrzebna do takich drgań jest dostarczana z samej maszyny podczas ruchu obrotowego i postępowego jej elementów. Zasadniczo powstawanie źródeł drgań jest spowodowane w większości przyczynami konstrukcyjnymi, technologicznymi i eksploatacyjnymi. Do tych pierwszych należy zamierzone przez konstruktora wprowadzenie m.in. mechaniz-

mów korbowo-wodzikowych w pompach tłokowych, sprężarkach, klinów w stole wiertniczym, układu gryzów w narzędziach wierzących. Przykładem źródeł drgań wynikających z przyczyn technologicznych są wszelkiego rodzaju niedokładności wykonawcze i montażowe, niewyrównoważenie elementów pozostających w ruchu obrotowym, luzy występujące w parach kinematycznych. Do przyczyn eksploatacyjnych zalicza się zużycie części, niedostateczną regulację np. siatek w sitach wibracyjnych itp. Źródłem drgań jest więc napęd dostarczający energię i proces technologiczny realizowany przez daną maszynę. Podczas ruchu obrotowego niewyrównoważonych statycznie i dynamicznie elementów maszyn jak też z powodu małej sztywności wałów oraz ruchu posuwisto-zwrotnego mechanizmów wiertniczych powstają siły odśrodkowe bezwładności  $B$ .

W przypadku niewyrównoważonej masy siła ta określana jest wzorem

$$B = m \cdot \omega^2 \cdot r,$$

gdzie:

- $m$  – niewyrównoważona masa umieszczona mimoosiowo [kg],
- $\omega$  – prędkość kątowna obracającego się elementu [ $s^{-1}$ ],
- $r$  – odległość środka ciężkości niewyrównoważonej masy od osi obrotu [m].

Siła ta działa wprawdzie w płaszczyźnie prostopadłej do osi obrotu, ale z powodu różnej sztywności konstrukcji w wielu kierunkach drgania mają amplitudy o różnych wartościach. W przypadku występowania minimalnej sztywności na danym kierunku drgania wykazują na nim swoją maksymalną wartość z częstością równą prędkości obrotowej niewyrównoważonej masy. Jedną z przyczyn drgań w urządzeniach wiertniczych jest występowanie niewspółosiowości wałów maszyn napędzających i napędzanych w postaci przemieszczenia równoległego promieniowego, niewspółosiowości kątowej, przemieszczenia równoległego z niewspółosiowością kątową w tej samej płaszczyźnie i tym samym kierunku oraz przemieszczenia równoległego z niewspółosiowością kątową w tej samej płaszczyźnie lecz w przeciwnym kierunku [5]. Do najgorzej tolerowanych przez organizm ludzki drgań należą drgania o małej częstotliwości 1÷20 Hz. Drgania te ulegają wzmocnieniu w miarę przekazywania ich w górę ciała.

### **3. KRYTERIA OCENY OKREŚLAJĄCE ZASZEREGOWANIE MASZYN DO KATEGORII BEZPIECZEŃSTWA**

Ze względu na sposób oddziaływania drgań mechanicznych na organizm ludzki maszyny dzielą się na trzy grupy:

- 1) maszyny technologiczne stacjonarne oraz maszyny energetyczne, w których podstawowy rodzaj zagrożenia to drgania o oddziaływaniu ogólnym; w wiertnictwie w większości przypadków maszyny robocze można zaliczyć do tej grupy;
- 2) maszyny technologiczne ręczne – drgania o oddziaływaniu miejscowym;
- 3) maszyny transportowo-robocze – drgania o oddziaływaniu ogólnym i miejscowym.

Ze względu na zagrożenie pracownika rozróżnia się cztery kategorie maszyn [1]:

- 1) bezpieczne,
- 2) uciążliwe,
- 3) szkodliwe dla zdrowia,
- 4) niebezpieczne dla zdrowia.

Ocenie poddaje się oddzielnie wszystkie składowe ( $x, y, z$ ) drgań w każdym z punktów pomiarowych, w pasmach 1/3-oktawowych i częstotliwościach środkowych od 0,8 Hz do 80 Hz, przez porównanie wyników pomiarów z wartościami [1] i przypisanie każdej składowej drgań do odpowiedniej kategorii. Kategoria badanej maszyny jest równa kategorii najwyższej spośród ustalonych dla składowych drgań w poszczególnych punktach pomiarowych. Wyniki pomiarów drgań na stanowiskach pracy powinny być zaopatrzone w dane potrzebne do identyfikacji i oceny zagrożenia pracownika drganiami oraz do oceny ryzyka zawodowego [4]. W dokumentacji z badań powinny znajdować się zapisy umożliwiające identyfikację źródła drgań, stanowiska operatora, metod pomiaru i oceny, miejsca pomiaru, stosowanego sprzętu pomiarowego, daty pomiaru i osób wykonujących pomiary.

#### **4. POMIARY DRGAŃ MECHANICZNYCH MASZYN W ŚRODOWISKU OBSŁUGI URZĄDZENIA WIERTNICZEGO**

Pomiary przyśpieszenia drgań mechanicznych przeprowadzono precyzyjnym miernikiem pierwszej klasy typu SVAN 912E oraz przetwornikiem typu PD-10, podczas wyciągania i zapuszczania przewodu wiertniczego do otworu o głębokości 546 m, a także w czasie wiercenia koronką diamentową typu PDC  $\phi$  216 mm na wiertni Z 84 urządzeniem wiertniczym typu IRI-750 [3].

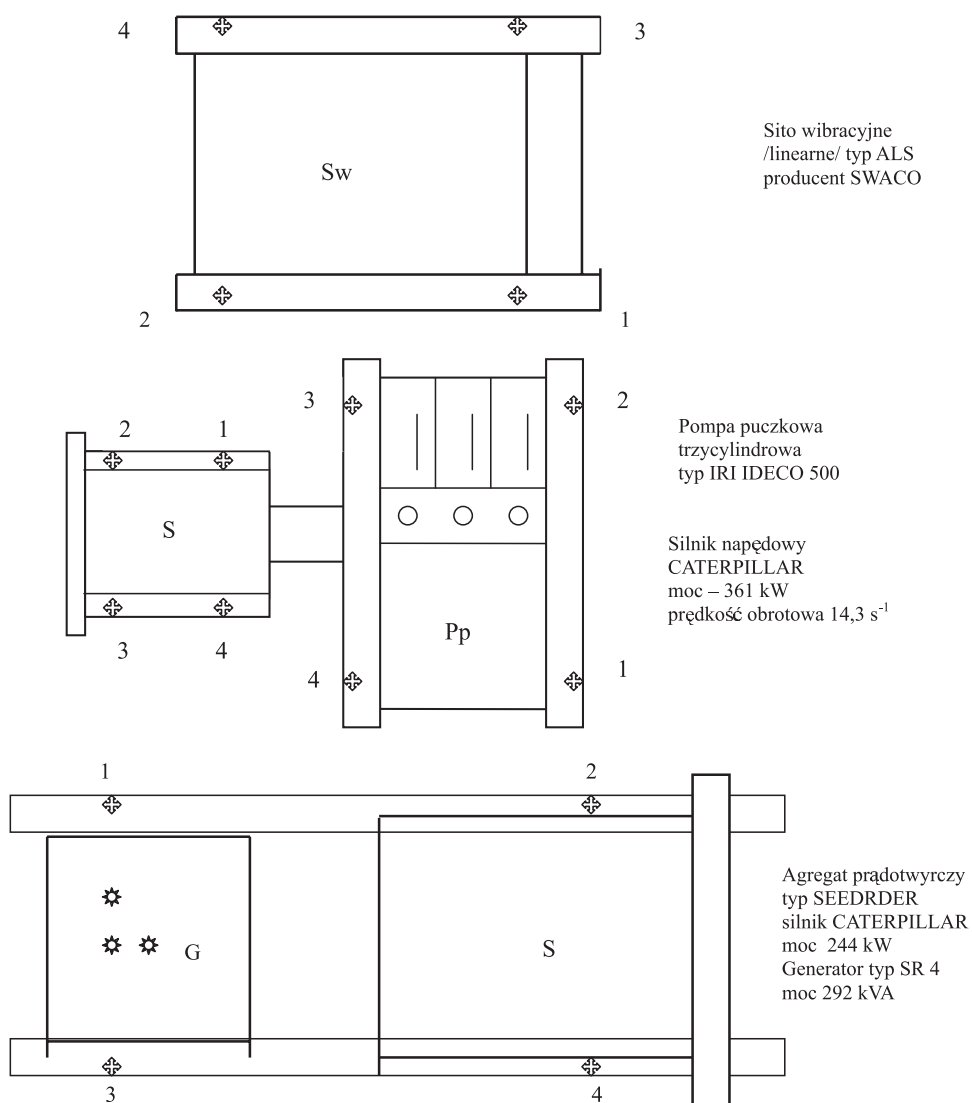
W czasie pomiarów pracowały: silnik napędowy wyciągu wiertniczego, silnik napędowy pompy płuczkowej, sito wibracyjne oraz agregat prądowórczy. Miejsca pomiaru drgań oraz ich liczbę uzależniono od rodzaju badanej maszyny wykonując pomiar przyśpieszenia drgań mechanicznych o oddziaływaniu ogólnym we wszystkich punktach zamocowania badanej maszyny (rys. 1).

Do badań wybrano głównie te maszyny robocze, których posadowienie nie było związane z konstrukcją urządzenia wiertniczego w celu wyeliminowania oddziaływań drgań innych maszyn wiertniczych w czasie jej całodobowej pracy. Pomiary wykonano w pasmach częstotliwości zakresu aparatu, tj. od 1,6÷80 Hz, stosując przetwornik o czułości 20,7 pC/MS<sup>-2</sup>.

Charakterystyki techniczne maszyn były następujące:

- Sito wibracyjne (linearne) ALS SWACO o wymiarach 3,124 m × 1,60 m × 1,346 m i o masie 1587 kg:
  - wysokość przelewu 0,813 m,
  - sita: 48" × 48" numer 10 do 200 mesh,
  - silniki (2) w wykonaniu przeciwwybuchowym o mocy 1,86 kW i prędkości obrotowej 30 s<sup>-1</sup> – 60 Hz i dodatkowo: 25 s<sup>-1</sup> – 1,86 kW,
  - zasilanie: 420 V, 50 Hz – 3-fazowe,
  - prędkość wibracji: 30 s<sup>-1</sup> – 60 Hz, 25 s<sup>-1</sup> – 50 Hz,
  - siła wibracji (przeciążenia) zmienna przez odpowiednie ustawienie przeciwwag na silnikach wibratora.

- Pompa płuczkowa trzycylindrowa IRI/IDECO 500 o ciśnieniu tłoczenia podczas pomiaru 5 MPa.
- Silnik napędowy pompy CATERPILLAR o mocy 361 kW i prędkości obrotowej  $14,3 \text{ s}^{-1}$ .
- Agregat prądowoczy: generator typ SR 4 o mocy 292 KVA z silnikiem napędowym CATERPILLAR, typ SEEDRDER o mocy 244 kW.



**Rys. 1.** Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych drgań maszyn roboczych urządzenia wiertniczego typu IRI-750: Sw – sito wibracyjne, S – silnik, Pp – pompa płuczkowa, G – agregat prądowoczy, 1, 2, 3, 4 – numery punktów pomiarowych

Z przeprowadzonych pomiarów wynika, że wartości skuteczne przyspieszenia drgań o oddziaływaniu ogólnym w przypadku sita wibracyjnego, silnika napędzającego pompę płuczkową oraz agregatu prądotwórczego (tab. 1), w wymaganych pasmach częstotliwości przekraczają wartości drgań dla kategorii pierwszej maszyn. Zalicza się je do kategorii drugiej – tzw. maszyn uciążliwych. Wartości drgań we wszystkich punktach posadowienia pompy płuczkowej nie przewyższają wielkości drgań dla kategorii pierwszej maszyn co pozwala zaliczyć ją do pierwszej kategorii tzw. maszyny bezpiecznej.

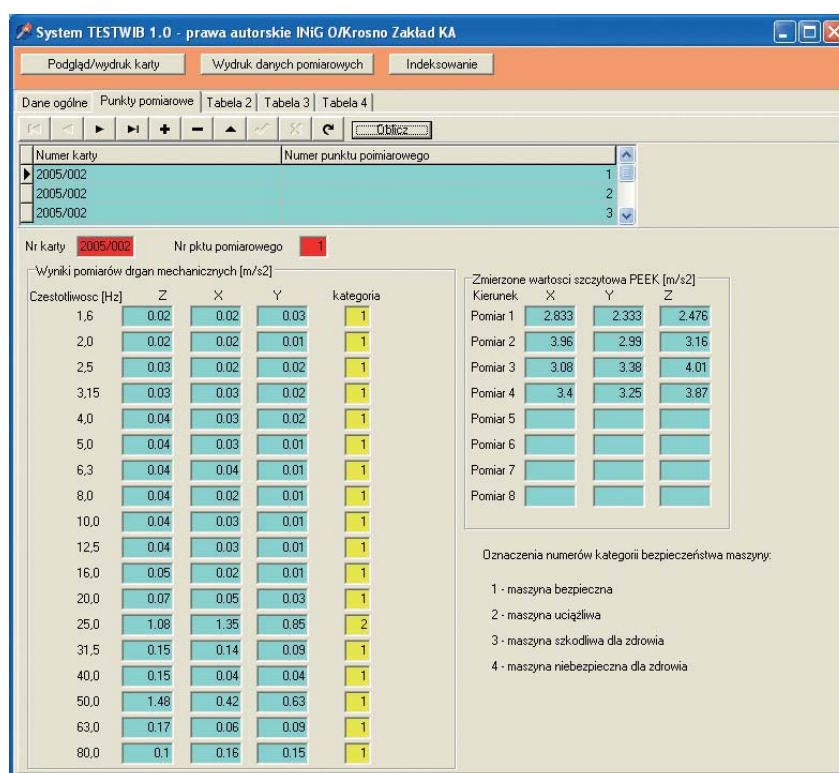
**Tabela 1**

Wyniki pomiarów drgań mechanicznych agregatu prądotwórczego typu SEEDRDER urządzenia wiertniczego IRI 750

Częstotliwości środkowe pasm 1/3-oktawowych [Hz]	Wartości skuteczne przyspieszenia drgań o oddziaływaniu ogólnym dla kierunków z, x, y [m/s <sup>2</sup> ]											
	Pkt pomiarowy 1			Pkt pomiarowy 2			Pkt pomiarowy 3			Pkt pomiarowy 4		
	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y
1,6	0,04	0,20	0,11	0,05	0,12	0,13	0,07	0,07	0,06	0,04	0,20	0,17
2,0	0,05	0,17	0,19	0,06	0,12	0,17	0,06	0,07	0,07	0,04	0,17	0,19
2,5	0,08	0,11	0,15	0,08	0,10	0,16	0,14	0,10	0,12	0,05	0,11	0,15
3,15	0,07	0,07	0,12	0,08	0,07	0,11	0,12	0,09	0,08	0,08	0,06	0,12
4,0	0,08	0,08	0,11	0,08	0,07	0,12	0,11	0,09	0,08	0,07	0,08	0,10
5,0	0,11	0,09	0,07	0,13	0,07	0,10	0,12	0,10	0,09	0,11	0,09	0,07
6,3	0,12	0,10	0,08	0,12	0,08	0,09	0,13	0,15	0,10	0,12	0,10	0,09
8,0	0,13	0,10	0,09	0,11	0,10	0,11	0,16	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09
10,0	0,13	0,11	0,11	0,15	0,11	0,13	0,18	0,17	0,13	0,13	0,11	0,98
12,5	0,36	0,22	0,21	0,58	0,16	0,25	0,37	0,21	0,18	0,36	0,23	1,56
16,0	0,18	0,14	0,13	0,19	0,15	0,17	0,22	0,20	0,18	0,19	0,16	0,87
20,0	0,19	0,16	0,14	0,20	0,16	0,19	0,23	0,21	0,18	<u>1,04</u>	0,16	0,14
25,0	<u>1,02</u>	0,21	0,33	0,24	0,22	0,33	0,65	0,34	0,22	<u>1,20</u>	0,35	0,33
31,5	0,29	0,20	0,18	0,29	0,20	0,26	0,31	0,29	0,25	0,30	0,20	0,28
40,0	0,48	0,22	0,21	0,72	0,25	0,42	0,53	0,45	0,36	0,50	0,22	0,21
50,0	0,49	0,26	0,32	1,12	0,27	0,34	0,79	0,38	0,38	0,55	0,28	0,35
63,0	1,95	0,42	0,47	1,15	0,36	0,58	0,78	0,76	0,73	<u>2,80</u>	0,98	0,48
80,0	<u>4,68</u>	0,47	0,73	1,88	0,56	0,78	2,26	1,19	0,66	<u>4,20</u>	3,58	1,82

Wartości krytyczne zaznaczone są przez podkreślenie.

Opracowany w INiG na podstawie przeprowadzonych badań, program komputerowy TESTWIB 1.0 pozwala kwalifikować badane maszyny wiertnicze pod względem wytwarzanych drgań do odpowiedniej określonej normą kategorii bezpieczeństwa: jako maszynę bezpieczną, uciążliwą, szkodliwą lub niebezpieczną dla zdrowia pracowników obsługi wiertnicy. Program umożliwia także zbieranie i przechowywanie w bazie danych wyników pomiarów wibracji badanych maszyn i urządzeń. Działa on pod kontrolą systemu operacyjnego MS Windows 9x, XP, 2000 i w pełni korzysta z możliwości tego systemu (rys. 2).



Rys. 2. Okno edycji punktów pomiarowych przyspieszenia drgań (kategoria maszyny)

## 5. PODSUMOWANIE

Z wykonanych badań maszyn urządzenia wiertniczego wynika, że w czasie pracy wiertnicy istnieje zagrożenie zdrowia pracowników obsługi oddziaływaniem drgań mechanicznych spowodowanych pracą agregatów prądotwórczych, sit wibracyjnych oraz silników napędowych, kwalifikowanych do drugiej kategorii – czyli tzw. maszyn uciążliwych.

Pracodawca jest zobowiązany do przeprowadzania oceny ryzyka zawodowego, jak również do dokumentowania działań odnoszących się do tej oceny oraz do realizacji polityki bezpieczeństwa i ochrony zdrowia załogi. Wynika z tego konieczność gromadzenia określo-

nych dokumentów związanych z przeprowadzonymi pomiarami drgań na stanowiskach pracy, zapisów dotyczących oceny stanu zagrożenia drganiami mechanicznymi w przedsiębiorstwie, materiałów szkoleniowych, programów poprawy warunków pracy oraz dokumentacji okresowych badań lekarskich członków załogi.

Opracowany program komputerowy stwarza możliwość zaszeregowania podzespołów roboczych urządzenia wiertniczego ze względu na rodzaj zagrożenia do poszczególnych kategorii oraz tworzenia bazy danych maszyn roboczych urządzenia wiertniczego.

## LITERATURA

- [1] PN-90/N-01357: *Drgania. Metody pomiarów i oceny drgań maszyn pod względem bezpieczeństwa i higieny pracy*
- [2] PN-EN 12096: *Drgania mechaniczne. Deklarowanie i weryfikowanie wartości emisji drgań*. Maj 2002
- [3] Urba R.: *Ocena stopnia drgań maszyn roboczych urządzenia wiertniczego w aspekcie zaszeregowania ich do określonych kategorii bezpieczeństwa*. Krosno, Dokumentacja INiG, 2005
- [4] Harazin B.: *Ocena i interpretacja wyników pomiaru drgań mechanicznych na stanowiskach pracy*. Bezpieczeństwo Pracy, 1, 1996
- [5] Bednarz S., Urba R.: *Drgania mechaniczne w środowisku obsługi urządzeń wiertniczych górnictwa naftowego*. Rocznik AGH Wiertnictwo Nafta Gaz, t. 20/1, 2003
- [6] Urba R.: *Badania drgań mechanicznych w środowisku obsługi eksploatowanych urządzeń wiertniczych górnictwa naftowego*. Krosno, Dokumentacja INiG, 2002