

## WPLYW OBCIĄŻENIA CHWILOWEGO NA PROCES DIAGNOZOWANIA AGREGATÓW TYPU STER STRUMIENIOWY

Tomasz BURNOS

Akademia Morska w Szczecinie, Zakład Diagnostyki i Remontów Maszyn Okrętowych  
ul. Podgórna 51/53, 70-205 Szczecin, fax 091 431 85 42, e-mail: [tomaszburnos@wp.pl](mailto:tomaszburnos@wp.pl)

### Streszczenie

W artykule omówiono wpływ zmiennych warunków obciążenia na proces diagnozowania okrętowych sterów strumieniowych. Wykazano konieczność uwzględnienia w procesie diagnozowania chwilowego obciążenia agregatu. Przytoczono przykład wykorzystania opracowanej metody w odniesieniu do wybranego sygnału diagnostycznego.

Słowa kluczowe: agregat typu ster strumieniowy, sygnał prądowy, przyspieszenia drgań.

### THE IMPACT OF TEMPORARY LOAD ON THRUSTER CONDITION MONITORING PROCESS

#### Summary

The impact of temporary load on thruster condition monitoring process is presented in the paper. The necessity to consider the temporary load in condition monitoring process is shown. An example of diagnostic signal analyze with described method is presented.

Keywords: thruster, electric current signal, vibration acceleration.

### WPROWADZENIE

Diagnozowanie maszyn lub zespołów maszyn (agregatów) z wykorzystaniem metod wibroakustycznych polega w większości przypadków na obserwacji miar sygnału wibroakustycznego w długim horyzoncie czasowym. Pozwala to na wyznaczanie trendów obserwowanych miar i odniesienie ich do ustalonych wartości granicznych. Aby tak prowadzony proces diagnozowania był skuteczny konieczne jest spełnienie podstawowego założenia: kolejne pomiary muszą być przeprowadzane w takich samych lub zbliżonych warunkach.

Spełnienie tak sformułowanego założenia nie jest trudne dla maszyn lub agregatów pracujących w systemach o ustabilizowanych parametrach pracy, jednak wiele systemów pracuje w zmiennych warunkach obciążenia. Konieczne jest więc uwzględnianie w procesie diagnozowania chwilowego obciążenia badanej maszyny.

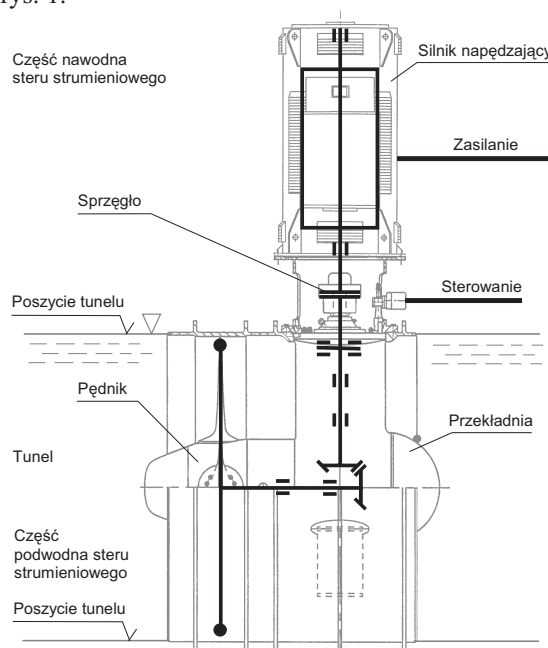
Aby zobrazować jak błędne może być wnioskowanie o stanie maszyny na podstawie losowego pomiaru przytoczony zostanie przykład obserwacji przeprowadzonych na okrętowych sterach strumieniowych.

### 1. WARUNKI PRACY OKRĘTOWEGO STERU STRUMIENIOWEGO

Przepływowe stery strumieniowe są montowane w części dziobowej oraz rufowej statku, służą do zwiększenia zdolności manewrowej jednostki. Ich zadaniem jest wywołanie strumienia, którego zwrot

skierowany jest prostopadle do osi wzdłużnej statku. Prom pasażersko-samochodowy „Polonia”, na którym prowadzone są badania, wyposażony jest w cztery stery strumieniowe, trzy w części dziobowej oraz jeden w części rufowej statku.

Ster strumieniowy składa się z maszyny napędzającej, którą w większości wypadków stanowi silnik elektryczny, połączonej sprzęgłem z zębatą przekładnią kątową, która napędza pędnik w postaci śruby najczęściej o nastawnym skoku. Schemat steru strumieniowego przedstawiono na rys. 1.

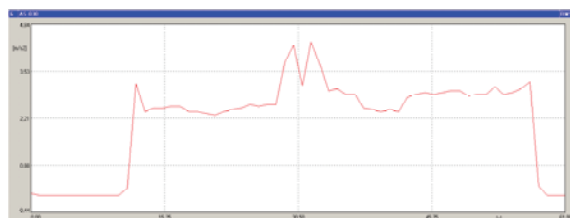


Rys. 1. Schemat steru strumieniowego [1]

Zapotrzebowanie na siłę naporu steru strumieniowego w procesie sterowania jednostki jest zmienne i zależy między innymi od:

- rodzaju manewru,
- ilości zamontowanych urządzeń tego typu,
- akwenu,
- warunków atmosferycznych,
- przebiegu manewrów.

W warunkach rzeczywistej eksploatacji steru, w trakcie manewrów portowych trwających od 5 minut do 1 godziny można zaobserwować od kilku do kilkudziesięciu zmian obciążenia agregatu. Przy czym zakres zmian zawiera się w granicach od biegu jałowego do obciążenia maksymalnego. Dodatkowo zmiany obciążenia, w zależności od umiejętności sternika oraz wymienionych warunków mogą się cechować różną dynamiką. Należy się spodziewać, że sygnały rejestrowane na elementach agregatu będą również cechowały się dużą zmiennością. Na rys. 2 przedstawiono przebieg wartości skutecznej przyspieszeń drgań korpusu przekładni steru dla całego czasu trwania manewrów.



Rys. 2. Przebieg wartości skutecznej przyspieszeń drgań korpusu przekładni

Jeżeli założyć, że badanie diagnostyczne zostanie wykonane w losowym przedziale czasu, to uzyskane wyniki mogą się znacznie różnić, w skrajnym przypadku dwukrotnie. Konieczne jest zapewnienie powtarzalności pomiarów poprzez uwzględnienie chwilowego obciążenia agregatu.

## 2. OBSERWACJA CHWILOWEGO OBCIĄŻENIA AGREGATU

W zależności od typu maszyn składających się na agregat możliwa jest obserwacja wielu parametrów pracy będących wskaźnikami obciążenia np.:

- dla pomp – ciśnienie tłoczenia,
- dla silników spalinowych – wychylenie listwy paliwowej,
- dla agregatów prądotwórczych – generowana moc elektryczna,
- dla sprzężarek – ciśnienie tłoczenia.

W przypadku agregatów typu ster strumieniowy, składających się z maszyny elektrycznej, układu transmisji mocy oraz maszyny wirnikowej wielkość chwilowej mocy mechanicznej może być określana na podstawie:

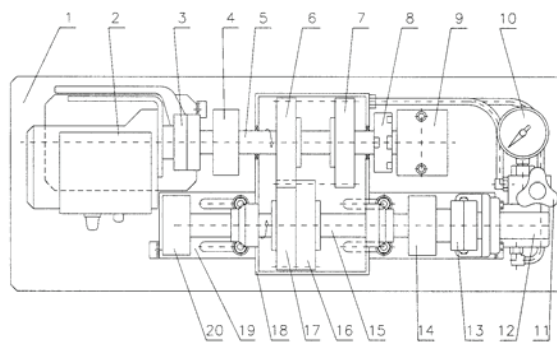
- pomiaru skręcenia wałów przekazujących moment obrotowy,

- pomiaru mocy elektrycznej pobieranej przez maszynę.

Wymienione metody wymagają skompletowania i wywzorcowania skomplikowanych torów pomiarowych, wykorzystujących między innymi urządzenia telemetryczne.

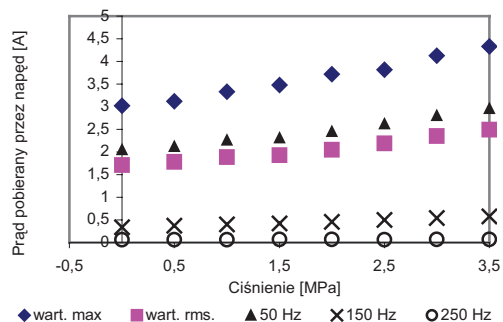
W przypadku diagnozowania agregatów wirnikowych napędzanych przez silniki elektryczne, nie zawsze konieczna jest dokładna znajomość mocy pobieranej przez napęd. W większości przypadków wystarczająca jest znajomość poziomu obciążenia w odniesieniu do obciążenia maksymalnego.

Zaproponowano, aby do oceny chwilowego obciążenia steru strumieniowego wykorzystać pomiar prądu pobieranego przez napęd. W tym celu przeprowadzono eksperyment czynny polegający na zmianie obciążenia modelu agregatu (rys. 3) i rejestracji wartości chwilowej prądu pobieranego przez napęd, przy założeniu stałych obrotów agregatu niezależnie od obciążenia.



Rys. 3. Schemat modelu agregatu wykorzystanego w eksperymencie: 1 – podstawa, 2 – regulator obrotów, 3 – sprzęgło, 4 – obudowa łożyska, 5 – wał wejściowy przekładni, 6 – koło zębate, 7 – koło zębate, 8, 9 – obudowa łożyska, 10 – manometr, 11 – zawór dławiaczy, 12 – pompa zębata, 13 – sprzęgło, 14 – obudowa łożyska, 15 – wał wyjściowy przekładni, 16 – koło zębate, 17 – koło zębate, 18 – obudowa przekładni, 19 – podstawa przekładni, 20 – obudowa łożyska

Następnie wyznaczono charakterystyki wybranych miar sygnału prądu pobieranego przez napęd w zależności od obciążenia (rys. 4).



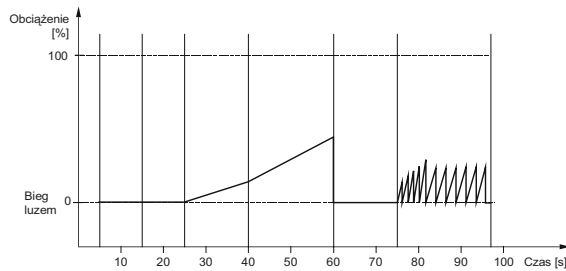
Rys. 4. Zależność miar prądu pobieranego przez napęd od ciśnienia wytwarzanego przez pompę

W celu wykazania związków pomiędzy poszczególnymi miarami wyznaczono współczynniki korelacji (tabela 1).

Tabela 1. Zestawienie współczynników korelacji poszczególnych miar ze zmianą ciśnienia wytwarzanego przez napęd

$R^2$	Wartość maksymalna	Wartość skuteczna (1 s)	Składowa 50 Hz	Składowa 150 Hz	Składowa 250 Hz
Ciśnienie wytwarzane przez pompę	0,9886	0,9745	0,9768	0,9907	0,4286

Aby wykazać przydatność proponowanej metody podczas częstych zmian obciążenia o różnej intensywności przeprowadzono eksperyment, w którym zmieniano obciążenie według założonego przebiegu (rys. 5). Poddano analizie miary uzyskanego sygnału prądowego (rys. 6).



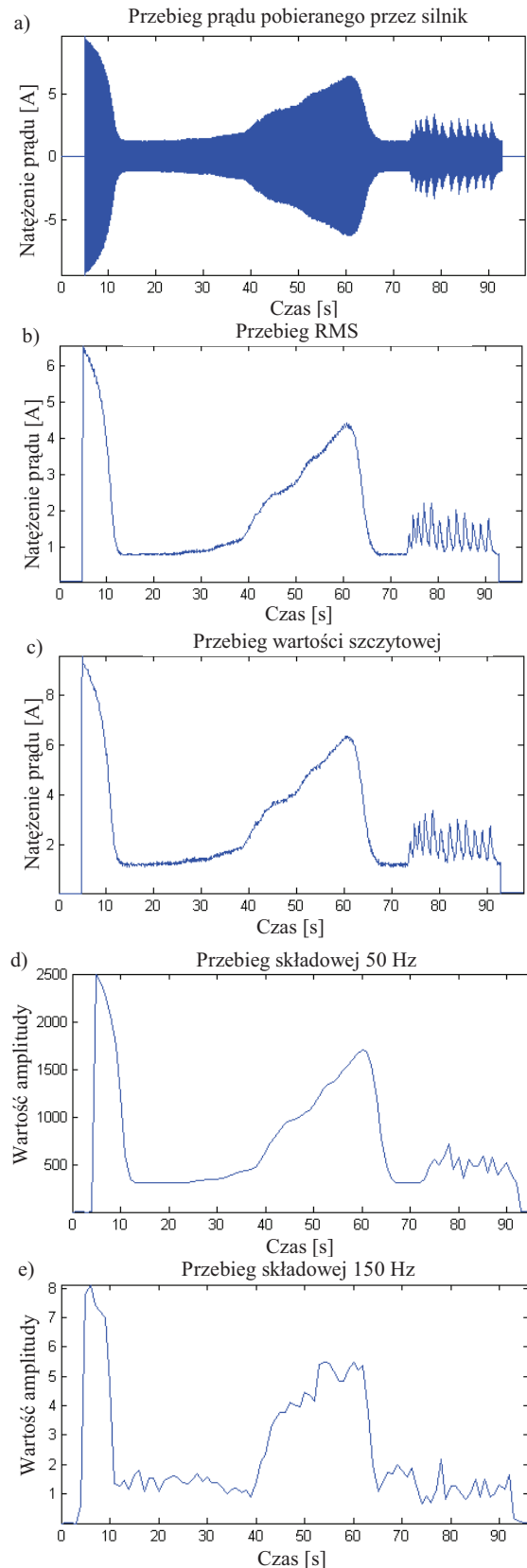
Rys. 5. Przebieg zmian obciążenia w eksperymencie

Również dla tego eksperymentu wyznaczono współczynniki korelacji poszczególnych przebiegów z przebiegiem obciążenia (tabela 2).

Tabela 2. Zestawienie współczynników korelacji poszczególnych miar z przyjętym przebiegiem zmian obciążenia

$R^2$	Wartość maksymalna	Wartość skuteczna (1 s)	Składowa 50 Hz	Składowa 150 Hz
Przebieg zmian obciążenia	0,9303	0,9234	0,8221	0,7312

Pomimo uzyskania najwyższego współczynnika korelacji dla przebiegu wartości szczytowej pobieranego prądu, na potrzeby pracy przyjęto przebieg wartości skutecznej jako wskaźnik chwilowego obciążenia agregatu. Zostało to podyktowane tendencją wartości szczytowej do chwilowych, losowych i znacznych zmian wartości.



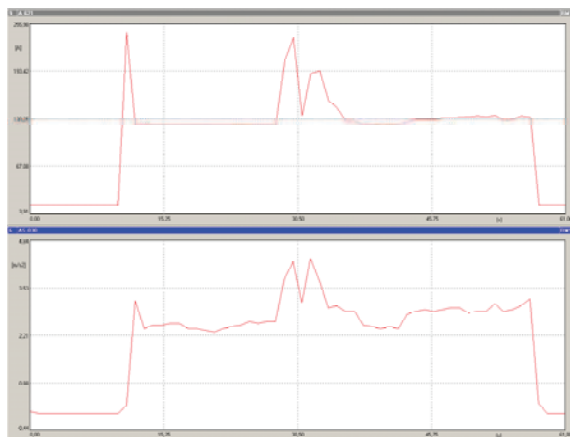
Rys. 6. Przebiegi prądu pobieranego przez napęd agregatu: a) przebieg wartości chwilowej prądu, b) przebieg wartości skutecznej prądu, c) przebieg wartości szczytowej prądu, d) przebieg składowej widma – 50 Hz, e) przebieg składowej widma – 150 Hz

### 3. ANALIZA SYGNAŁÓW GENEROWANYCH PODCZAS PRACY STERU STRUMIENIOWEGO UWZGLĘDNIAJĄCA WPŁYW OBCIĄŻENIA

Na podstawie dotychczasowych badań [1, 2, 3] wykazano, że w procesie diagnozowania zespołów steru strumieniowego, można wykorzystać:

- sygnały emisji akustycznej – diagnozowanie stanu skrzydeł śruby,
- sygnały drganiowe – diagnozowanie stanu elementów przekładni oraz elementów silnika elektrycznego.

Zarówno sygnały drganiowe jak i sygnały emisji akustycznej cechują się dużą zależnością od obciążenia (współczynnik  $R^2$  na poziomie 0,99). Na rys. 7 przedstawiono przykładowe przebiegi wartości skutecznej prądu pobieranego przez napęd oraz wartości skutecznej przyspieszeń drgań korpusu przekładni w funkcji czasu.



Rys. 7. Przebiegi a) wartości skutecznej prądu pobieranego przez napęd oraz b) wartości skutecznej przyspieszeń drgań korpusu przekładni w funkcji czasu

Aby zapewnić powtarzalność warunków badania diagnostycznego opracowano algorytm selektywnej analizy sygnału względem obciążenia. Polega on na:

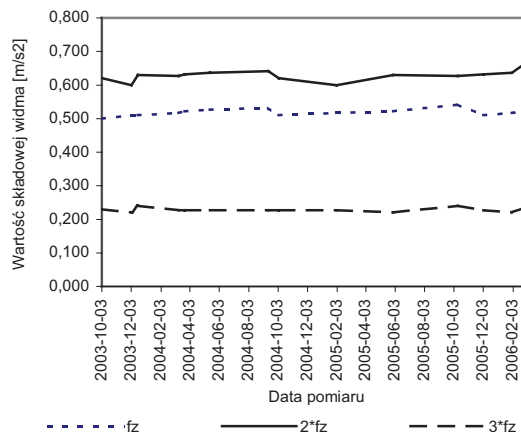
- podziale sygnału analizowanego oraz sygnału prądu pobieranego na określoną liczbę przedziałów, wynikającą m.in. z stosowanych metod analizy sygnału,
- przyjęciu wartości progowej prądu dla klasyfikacji sygnału,
- usunięciu z przebiegów części sygnału zarejestrowanej podczas rozbiegu agregatu,
- selekcji przedziałów sygnału prądowego w których wartość skuteczna prądu przekracza przyjętą wartość progową,
- selekcji przedziałów sygnału analizowanego odpowiadających przedziałom wyznaczonym w poprzednim kroku.

Zastosowanie takiego algorytmu pozwala na wyznaczenie z sygnału analizowanego odcinków

zarejestrowanych przy zbliżonym poziomie obciążenia.

### PODSUMOWANIE

Zaproponowany algorytm zastosowano w odniesieniu do sygnałów drganiowych jak i emisji akustycznej. W trakcie trzyletnich badań prowadzonych na sterach strumieniowych wykazano, przydatność algorytmu. Miary analizowanych przedziałów sygnałów, znajdują się w wąskim przedziale wartości (rys. 8).



Rys. 8. Zmiany wartości składowych głównych widma w okresie prowadzenia badań,  $f_z$  – częstotliwość zazębienia

### LITERATURA

- [1] Bielawski P., Burnos T., *Diagnozowanie agregatów typu maszyna elektryczna – przekładnia – pędnik*, Diagnostyka, Vol. 33, 2005, s. 19-24.
- [2] Burnos T.: *Zastosowanie sygnałów różnego typu w diagnozowaniu sterów strumieniowych*. Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, 2004, Nr 1(73), s. 101-115.
- [3] Burnos T., *Diagnozowanie agregatów okrętowych typu ster strumieniowy*, XXXIII Ogólnopolskie Sympozjum „Diagnostyka maszyn” Węgierska Górka 06-11.03.2006 r., streszczenia s. 42, CD, 10 s, Politechnika Śląska, Katowice 2006.



Mgr inż. **Tomasz BURNOS** jest asystentem w Zakładzie Diagnostyki i Remontów Maszyn Okrętowych Akademii Morskiej w Szczecinie.

Zajmuje się problemami obsługiwanie maszyn okrętowych, w szczególności diagnozowaniem układów napędowych.