

## Współczesne sposoby naprawy okrętowych elementów maszyn metodami ubytkowym

*Streszczenie:* W artykule wymieniono ważniejsze części spalinowych silników okrętowych naprawianych metodami ubytkowymi. Przybliżono współczesnych producentów, których urządzenia i maszyny wykorzystywane są w naprawach metodami ubytkowymi. Opracowano algorytmy napraw dla wybranych części. Przedstawiono wymogi techniczne oceny jakości naprawianych elementów maszyn.

Słowa kluczowe: naprawa, elementy maszyn, metody ubytkowe

### 1. Wprowadzenie

Trwałość elementu liczony od chwili zamontowania w maszynie do chwili kasacji tego elementu może być wydłużony poprzez spowalnianie procesów zużycia oraz poprzez odnowy-przywracanie potencjału eksploatacyjnego.

Odnowy elementów maszyny / urządzenia przeprowadzane podczas remontu muszą być nie tylko możliwe technologicznie ale również uzasadnione ekonomicznie. W przypadku wystąpienia stanu niezdatności urządzenia element uszkodzony, to znaczy element o wartości zużycia powodując przejście urządzenia ze stanu zdatności w stan niezdatności może być:

- zastąpiony elementem nowym wyprodukowanym jako część zamienna przez producenta urządzenia lub producenta elementów maszyn np. łożysk tocznych, łożysk ślizgowych itp.;
- zastąpiony elementem naprawianym lub regenerowanym oferowanych jako część zamienna;
- naprawiany w czasie między demontażem i montażem urządzenia.

Wybór sposobu odnowy zdeterminowany jest:

- czasem dostępu do danej części / czasem naprawy,

- ceną części / kosztami naprawy,
- jakością i niezawodnością.

Naprawa danej części jest ekonomicznie uzasadniona jeżeli wartość naprawy nie przekracza 50% (według służb technicznych armatorów) wartości nowej części. Wiele napraw elementów może być realizowane metodami ubytkowymi.

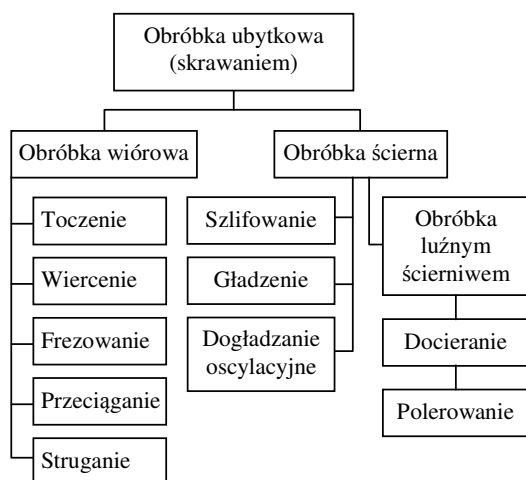
Przez naprawę metodami ubytkowymi należy rozumieć przywracanie przedmiotowi (elementowi maszyny) właściwości użytkowych za pomocą wybranych technik obróbki mechanicznej. Na rysunku 1.1 przedstawiono najczęściej wykorzystywane techniki obróbki mechanicznej w naprawach okrętowych elementów maszyn.

### 2. Części okrętowego silnika spalinowego naprawiane metodami ubytkowymi

W tłokowych silnikach spalinowych najczęściej naprawiane metodami ubytkowymi są następujące ich części:

- 1) głowica i jej niezbędne uzbrojenie związane z prawidłowym funkcjonowaniem silnika tj.:
  - zawory z gniazdami dolotowymi i wylotowymi (obróbka wiórowa i ścierna),
  - zawór powietrza startowego (docieraniem),
  - zawór bezpieczeństwa (docieraniem),
  - wtryskiwacz paliwa (szlifowanie i docieranie),
  - powierzchnia styku głowicy z tuleją cylindrową (docieraniem);
- 2) tuleja cylindrowa głównie usuwanie błędów kształtu (owalność, stożkowatość itp.) powierzchni wewnętrznej za pomocą gładzenia potocznie nazywaną honowaniem;
- 3) blok silnika – korygowanie powierzchni styku tulei cylindrowej z blokiem silnika przenośnymi tokarkami lub szlifierkami;
- 4) rowki pierścieni tłokowych (korekcja) za pomocą specjalnych szlifierek np. jak rysunku 2.1;
- 5) czopy wałów korbowych – eliminowanie błędów kształtu (stożkowatość, siódłowość, baryłkowość) specjalnymi urządzeniami przenośnymi (tokarki, szlifierki).

Na rysunku 2.2 zaznaczono ważniejsze miejsca w obrębie komory spalania naprawiane z wykorzystaniem obróbki ubytkowej.



Rys. 1.1. Klasyfikacja sposobów obróbki ubytkowej [1]

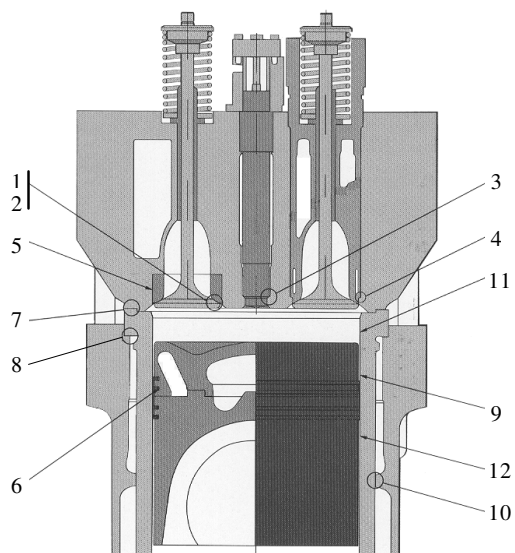


Rys. 2.1. Szlifierka typu PRG do rowków pierścieni tłokowych [8]

Skuteczność naprawy zaworów i gniazd zaworowych została opisana w pozycji [2].

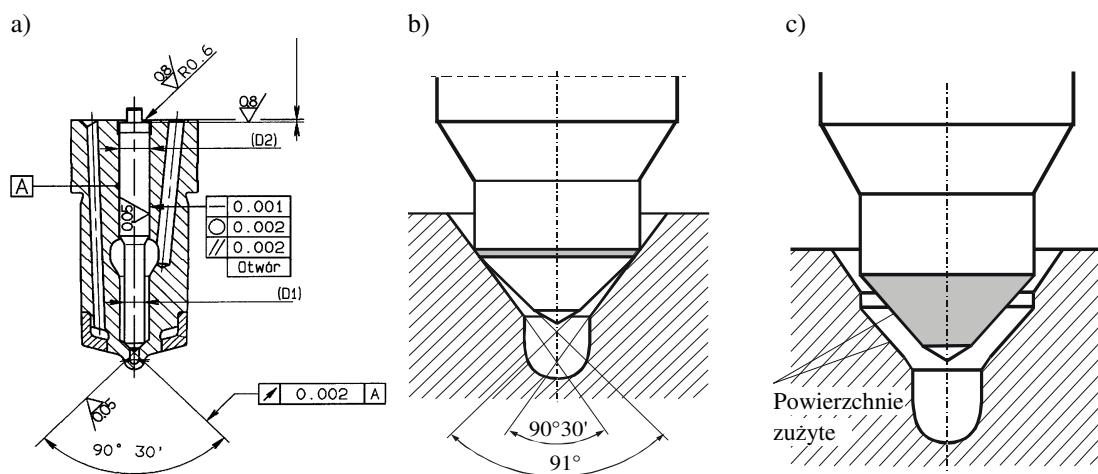
### 3. Opis sposobów napraw elementów silnika

Zawory powietrza startowego i bezpieczeństwa są przeważnie naprawiane poprzez dotarcie razem grzybka zaworu do gniazda przy użyciu odpowiedniej pasty do docierania. Czołowe powierzchnie styku w głowicy zaworów startowych i bezpieczeństwa są docierane za pomocą specjalnych docieraków.



Rys. 2.2. Elementy komory spalania silnika czterosuwowego naprawiane obróbką ubytkową; 1, 2 – grzybek zaworu i gniazdo zaworu, 3 – gniazdo wtryskiwacza, 4, 5 – otwory pod gniazdo zaworu i kosz zaworowy, 6 – rowek pierścienia tłokowego, 7 – powierzchnie styku głowicy z tuleją, 8, 10 – powierzchnie styku tulei z korpusem, 9 – nagar, tzw. próg na tulei cylindrowej, 12 – powierzchnia wewnętrzna tulei [1]

**Wtryskiwacz paliwa** spalinowego silnika okrętowego jest wrażliwym na jakość paliwa i obciążenia eksploatacyjne ogniwiem instalacji paliwa silnika. Ze względu na jego funkcję w systemie paliwowym wymaga się od wtryskiwacza dużej niezawodności eksploatacyjnej, co przekłada się na bezpieczeństwo statku szczególnie podczas manewrów. Naprawa wtryskiwacza paliwa w warunkach statkowych sprowadza się do wymiany zużytych części na nowe (sprężyny, popychacze, rozpylacze paliwa), następnie dotarcie powierzchni styku nowego rozpylacza z korpusem wtryskiwacza. Montaż i regulacja ciśnienia wtrysku według ITR dane-



Rys. 3.1. Rozpylacz klasycznego silnika czterosuwowego: a) przekrój rozpylacza nowego, b) gniazdo rozpylacza nowego, c) gniazdo rozpylacza po długim okresie pracy silnika lub niewłaściwe docieranie [1]

go silnika dokonywane są na statkowym próbniku hydraulicznym do regulacji wtryskiwaczy paliwa. Ze względu na duże dokładności wykonania pary precyzyjnej naprawy rozpylaczy powinny odbywać się w specjalistycznych zakładach lądowych. Dużym błędem jest docieranie razem stożka iglicy ze stożkiem gniazda co skutkuje niewłaściwym rozpylaniem paliwa tzw. „laniem” co skutkuje wysokimi temperaturami na wydechu i stratą mocy silnika. Na rysunku 3.1b przedstawiono prawidłowy styk liniowy części stożkowej iglicy ze stożkiem gniazda rozpylacza, co jest gwarantem właściwego rozpylenia dawki paliwa. Podczas pracy styk liniowy przechodzi w kontakt powierzchniowy (rys. 3.1c). Z praktyki morskiej autora wynika, że po przekroczeniu ok. 2/3 całkowitej szerokości styku rozważanego węzła stożkowego następuje niewłaściwe rozpylanie paliwa. Rysunek 3.1a zawiera wybrane dopuszczalne wartości wykonania rozpylacza paliwa związane z błędami kształtu i położenia.

Więcej informacji związanej z naprawą rozpylaczy paliwa zawarto w [1].

**Naprawa tulei cylindrowych** silników okrętowych polega głównie usunięciu błędów kształtu wewnętrznej średnicy powstałych podczas eksploatacji silnika. Na rysunku 3.2 pokazano schemat ruchów głowicy „honownicy” z ośkami i tor ich ziaren. Dzięki złożonemu ruchowi głowicy honownicy otrzymuje się na powierzchni gładzi tulei cy-

lindrowej charakterystyczną siatkę krzyżujących się śladów ziaren.

Po gładzeniu oprócz usunięcia błędów kształtu dodatkowo uzyskujemy strukturę „plateau”, która charakteryzuje się występowaniem siatki głębokich rys na gładkim tle (rys. 3.3b). Taka struktura stwarza dobre warunki tribologiczne, co podwyższa trwałość współpracujących zespołów (tłok–tuleja). Dla silników okrętowych zalecany kąt krzyżujących się rys zawiera się w przedziale  $2\alpha = 45^\circ\text{--}60^\circ$  i głębokości rys (tzw. kieszenie olejowe) od  $1\ \mu\text{m}$  do ok  $10\ \mu\text{m}$  zależne od typu silnika.

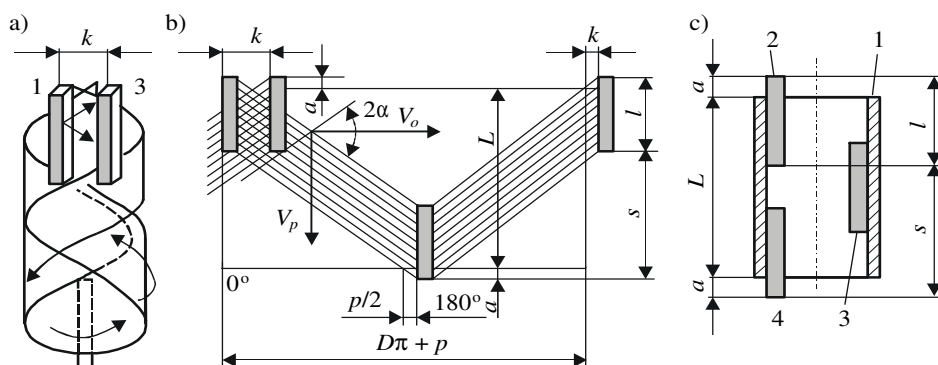
Powstałe błędy kształtu (owalność) oraz zarysowania można usunąć na maszynach przenośnych lub stacjonarnych typu S1, jak na rysunku 3.4, np. produkcji firmy Chris-Marine ze Szwecji.

W wyniku honowania można uzyskać następujące dokładności obrobionego elementu:

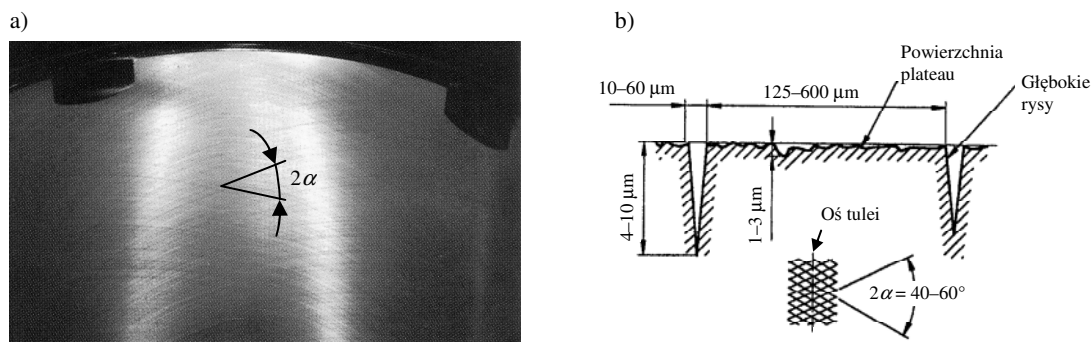
- dokładność wymiarów IT4 – IT6;
- prostoliniowość tworzącej  $0,5\text{--}20\ \mu\text{m}$ , przy  $Ra = 0,08\text{--}0,02\ \mu\text{m}$ ;
- równoległość tworzącej otworu  $0,1\text{--}7\ \mu\text{m}$ .

**Bloki silnikowe** szczególnie powierzchnie styku powierzchni bloku z tuleją cylindrową można skorygować np. przy pomocy przenośnej tokarki typu PTL firmy Chris-Marine jak na rysunku 3.5.

Dzięki współosiowemu zamocowania przenośnej obrabiarki (tokarki lub szlifierki) przywracane są założone przez konstruktora powierzchnie przy-

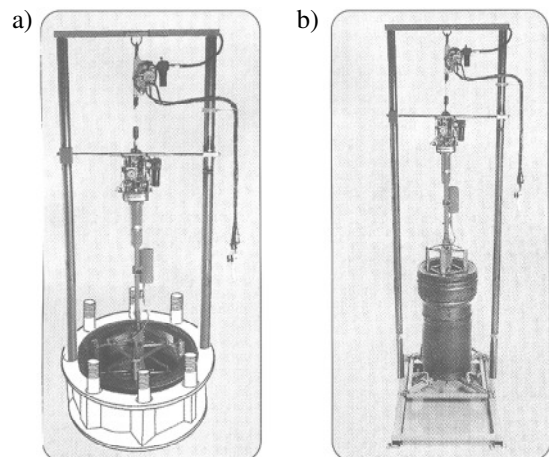


Rys. 3.2. Schemat ruchów ośki i tory ziaren przy gładzeniu otworów: a) tuleja docierana; b) rozwinięcie na płaszczyznę powierzchni obrabianej; c) kolejne położenia ośki 2, 3, 4 podczas pojedynczego skoku w tulei 1 [1]

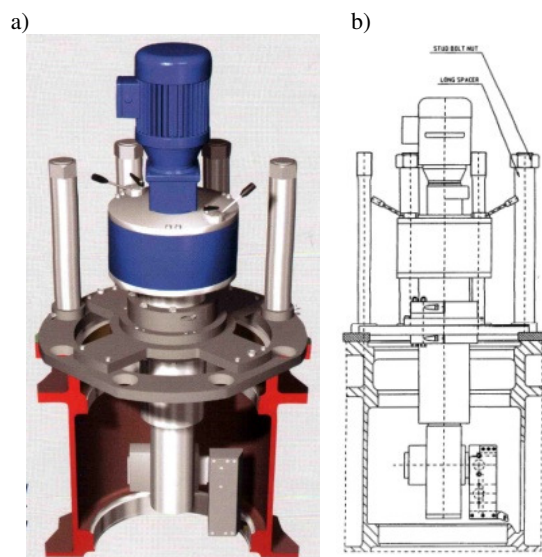


Rys. 3.3. Powierzchnia gładzi tulei cylindrowej po gładzeniu: a) widok ogólny, b) struktura powierzchni gładzonej o nazwie plateau [1]

legania tulei cylindrowej do bloku silnika, a więc zapewnione tolerancje wymiarowe oraz tolerancje kształtu i położenia.



Rys. 3.4. Rozwiązanie konstrukcyjne mocowania honownicy typu S: a) bezpośrednio na silniku, b) w zastosowaniu warsztatowym [8]

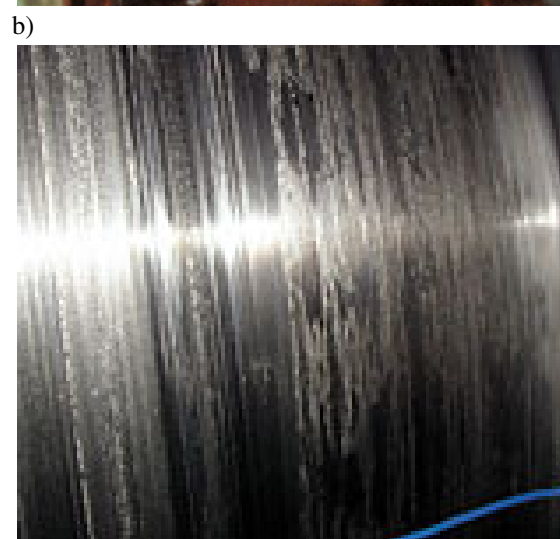
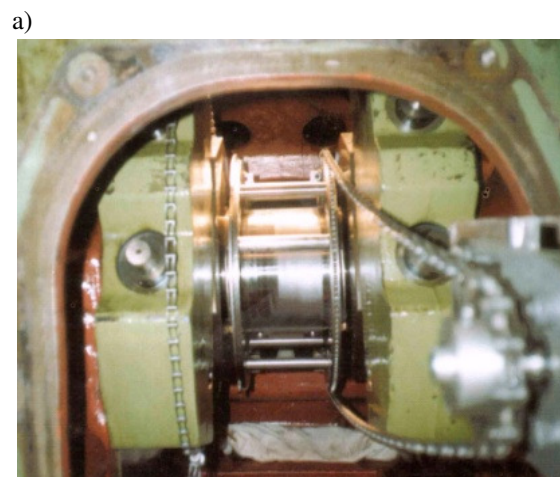


Rys. 3.5. Przenośna tokarka do obróbki powierzchni styku tulei cylindrowej z blokiem silnika typu PTL firmy Chris-Marine: a) widok ogólny, b) przekrój poprzeczny

**Naprawa czopów wałów korbowych** silnika okrętowego ze względu na koszty odbywa się na statku bez demontażu wału. Usuwanie błędów kształtu (baryłkowatość, wklęsłość, stożkowatość) powierzchnie czopów wałów korbowych dokonują się na silniku za pomocą specjalnych szlifierek typu In-situ, więcej informacji można uzyskać [10–13].

Firmy remontowe mają z reguły urządzenia własnej konstrukcji bez możliwości ich kupna. Tajemnicą danej firmy jest pozycjonowanie przenośnego urządzenia do powierzchni obrabianego czopa. Ocena jakości wykonanej naprawy musi spełniać jednocześnie wymogi pozycji [7], kryte-

rium producenta silników oraz przepisów towarzystw klasyfikacyjnych.

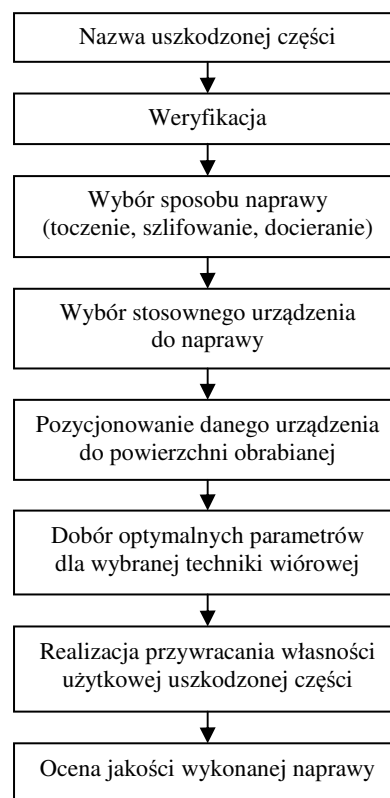


Rys. 3.6. Naprawa czopa korbowego okrętowego silnika spalinowego na silniku: a) w trakcie obróbki, b) widok powierzchni czopa przed naprawą, c) widok powierzchni czopa po naprawie

#### 4. Algorytmy napraw części silnika

Algorytm napraw rozpylacza paliwa na przykładzie rozpylaczy paliwa silników Stork-Wärtsilä SW38 można sformułować następująco:

- 1) Mycie w myjce ultradźwiękowej, np. z płynem Kalibrom Lux firmy Orlen;
  - 2) Weryfikacja przed naprawą. Rozpylacz może być naprawiany jeżeli:
    - korpus rozpylacza jest nieuszkodzony,
    - powierzchnia wewnętrzna korpusu prowadzenia iglicy spełnia wymogi nowego rozpylacza,
    - średnica otworków – max. zużycie nie przekracza 0,04 średnicy nom =  $\varnothing 0,61$  mm (wałeczek kontrolny o średnicy  $\varnothing 0,65$  mm nie przechodzi),
    - luz prowadzenia igły rozpylacza w jego korpusie zawiera się w przedziale dopuszczalnym,
    - uszkodzenia stożka gniazda nie przekraczają warstwy utwardzonej;
  - 3) Czyszczenie płótnem ściernym nr 400 części zewnętrznych korpusu rozpylacza oraz niepasowanych powierzchni iglicy;
  - 4) Szlifowanie kąta iglicy w specjalnym oprzyrządowaniu na szlifierce z tarczą ścierną np. JK 320 (zieloną) na 12 klasę dokładności. Np. szlifować stożek iglicy na kąt  $91^\circ$  na specjalnej szlifierce
  - 5) Docieranie gniazda w korpusie specjalnym docierakiem pastą do docierania F1200 celem odtworzenia kąta stożka gniazda  $90^\circ 30'$ ;
  - 6) Mycie iglicy i korpusu;
  - 7) Sprawdzanie szczelności gniazda rozpylacza przez podciekanie wtryskiwacza, tzn. wyciek paliwa przez gniazdo zamykające rozpylacza przy zamkniętym wtryskiwaczu. Ocenę szczelności gniazda rozpylacza przeprowadza się, obserwując czy z rozpylacza nie oderwie się kropla paliwa w czasie 10 s, przy ciśnieniu niższym o 2 MPa od ciśnienia otwarcia wtryskiwacza. W naszym przypadku ciśnienie otwarcia rozpylacza według ITR wynosi  $P_{otw} = 450$  bar. Ciśnienie próby szczelności  $P_{szcz} = 430$  bar. Przed sprawdzeniem podciekania wykonujemy kilka (np. 10), zdecydowanych wtrysków, następnie dokładnie wycieramy koniec rozpylacza suchą tkaniną. Ciśnienie we wtryskiwaczu doprowadzamy do wartości o 20 bar niższej od ciśnienia otwarcia i utrzymujemy je przez 10 s;
  - 8) Szlifowanie skoku iglicy po próbie szczelności w specjalnych kłach (rozpylacz obraca się wokół swojej wzdłużnej osi). Następnie po szlifowaniu powierzchnię przeszlifowaną należy dotrzeć pastą szlifiersko-polerską nr 10.
- Na podstawie analizy napraw części na przykładzie okrętowego silnika spalinowego metodami ubytkowymi ogólny algorytm napraw można przedstawić jak na rysunku 4.1.



Rys. 4.1. Algorytm napraw części silnika

są optymalnym rozwiązaniem ze względu na duże wymiary tych części. Względnie ekonomicznym czynnikiem decydującym o wyborze naprawy uszkodzonych części spalinowych silników okrętowych przy pomocy przenośnych urządzeń skrawających.

Coraz więcej producentów wytwarza wspomniane wyżej urządzenia przenośne, wiodącym producentem tych urządzeń na skalę światową jest szwedzka firma Chris-Marine z Malmo [8]. Kolejnym producentem o zasięgu światowym jest niemiecka firma Hunger [9], która specjalizuje się w produkcji przenośnych obrabiarek do naprawy zaworów i gniazd zaworowych. Wyżej wymienione dwie firmy tj. Chris-Marine oraz Hunger są liderami na skalę światową w produkcji powyższych urządzeń, dużo statków jest wyposażone w ich obrabiarki ponieważ uzyskały akceptacje producentów silników i towarzystw klasyfikacyjnych. Urządzenia do naprawy czopów wałów korbowych są trudno dostępne ze względu na brak ofert sprzedaży na rynku europejskim. Tylko Indyjska firma Eurotech [11] sprzedaje przenośne urządzenia do napraw czopów wałów korbowych za odpowiednią cenę. Serwisowe firmy naprawcze na swoich stronach internetowych [10–13] promują własne urządzenia celem zlecenia im naprawy czopów. Na morskim rynku remontowym obserwuje się coraz większe zainteresowanie napraw elementów maszyn metodami ubytkowymi.

## Zakończenie

Przenośne urządzenia typu In-situ do napraw części silników okrętowych metodami ubytkowymi

---

---

## Literatura

- [1] Raunmiagi Z., Naprawy wybranych okrętowych elementów maszyn za pomocą obróbki ubytkowej. Wydawnictwo Naukowe Akademii Morskiej, Szczecin 2010.
- [2] Raunmiagi Z., Ocena skuteczności naprawy za pomocą szlifowania zaworów okrętowych silników spalinowych. PTNSS Kongres, Opole, 22–24 czerwca 2009 r., Combustion Engines Nr 2009-SC1.PTNSS-SC-128, s. 251–253.
- [3] Bielawski P., Raunmiagi Z., Naprawy wybranych elementów okrętowego silnika spalinowego. Problemy Eksploatacji, 3-2007, s. 33–40.
- [4] Bielawski P., Raunmiagi Z., Naprawy elementów w eksploatacji silnika spalinowego statku. Problemy Eksploatacji, 4-2007, s. 41–49.
- [5] PN-EN 60300-3-4:2008. Zarządzanie niezawodnością. Część 3–4: Przewodnik zastosowań.
- [6] PN-EN 13303:2006. Terminologia dotycząca obsługiwanego.
- [7] PN-EN 20286-1. Układ tolerancji i pasowań ISO
- [8] [www.Chris-Marine.com](http://www.Chris-Marine.com)
- [9] [www.ludwig-hunger.de](http://www.ludwig-hunger.de)
- [10] [www.abcgrinding.com](http://www.abcgrinding.com)
- [11] [www.eurotechsystems.net](http://www.eurotechsystems.net)
- [12] [www.in-situ.co.uk](http://www.in-situ.co.uk)
- [13] [www.metalock.co.uk](http://www.metalock.co.uk)

Mr Zygmunt Raunmiagi, MSc., ship's chief engineer – Senior Lecturer in the Diagnostic and Maintenance of Machinery Department at Maritime University of Szczecin.

*Mgr inż. st. of. mech. okr. Zygmunt Raunmiagi – starszy wykładowca w Katedrze Diagnostyki i Remontów Maszyn Akademii Morskiej w Szczecinie.*

