

The application of geometric measurement and analysis images for mapping geometric of model marine engine injection equipment

Abstract: The paper presents the application of modern methods to reproduce the geometric model of the injection equipment of medium speed marine diesel engines. Geometric data were obtained on the basis of the new objects operated under natural conditions. Analysis of two-dimensional images was also used for modeling. The aim was to determination the geometrical features of the main elements of the injection equipment, and in this work exemplary presents the results of measurements and modeling of the injector nozzle.

As a result of geometrical measurements it was possible to obtain a set of points and on the basis of the development of the areas of digital objects. A computer program for modeling three-dimensional space (3D) mapped the test items.

Key words: marine engines, injection apparatus, transformation geometry.

Zastosowanie pomiarów geometrycznych i analizy obrazów do odwzorowania modelu geometrycznego aparatury wtryskowej silnika okrętowego

Streszczenie: W pracy przedstawiono zastosowanie nowoczesnych metod do odtworzenia modelu geometrycznego aparatury wtryskowej współczesnych średnioobrotowych okrętowych silników spalinowych. Dane geometryczne pozyskano na podstawie obiektów nowych i eksploatowanych w naturalnych warunkach. Do modelowania wykorzystano również analizę obrazów dwuwymiarowych. Celem było określenie cech geometrycznych głównych elementów aparatury wtryskowej, a w pracy przedstawiono przykładowo wyniki pomiarów i modelowania rozpylacza wtryskiwacza.

W wyniku pomiarów geometrycznych możliwe było pozyskanie zbioru punktów i na ich podstawie opracowanie obszarów cyfrowych obiektów. Stosując program komputerowy do modelowania w przestrzeni trójwymiarowej (w formie 3D) odwzorowano badane elementy.

Słowa kluczowe: silniki okrętowe, aparatura wtryskowa, odwzorowanie geometri.

1. Wstęp

Geometria aparatury wtryskowej wpływa na stan techniczny silnika o zapłonie samoczynnym. W procesie modelowania stanów technicznych aparatury wtryskowej zmienność cech geometrycznych powinna odpowiadać ich zmianom wynikającym z rozrzutu wymiarów wykonawczych oraz zużycia i uszkodzeń [2, 9].

Wykonanie pomiarów geometrycznych jest stosunkowo złożone i wymaga zastosowania wielu różnych przyrządów pomiarowych oraz stanowisk [2, 3, 4, 5, 13, 15]. Trudności są spowodowane dostępem do otworów wewnętrznych o małych rozmiarach, a także z ograniczeń aparatury pomiarowej [5, 13]. Problem jest istotny, gdyż firmy produkujące sprzęt do pomiarów geometrycznych nie mogą zaproponować właściwych przyrządów pomiarowych do niektórych zastosowań. Przy produkcji seryjnej, w celu obniżenia kosztów, zwykle występuje pomiar kilku istotnych cech konstrukcyjnych.

Konstruktorzy aparatury wtryskowej strzegą informacji o swoich opracowaniach, tak, aby nie

dostały się one do konkurencyjnych wytwórców. Tak, więc dla celów badań eksperymentalnych i symulacyjnych zachodzi konieczność opracowania modelu na podstawie pomiarów. Przez model obiektu rozumie się układ dający się pomyśleć lub materialnie zrealizować, który odtwarzając przedmiot badania zdolny jest zastąpić go tak, że badanie dostarczy nowych informacji o obiekcie [17]

Model geometryczny można wykonać na wiele różnych sposobów, a w przypadku złożonego modelu geometrycznego liczba tych sposobów jest praktycznie nieskończona [1, 5, 14].

Projektowanie wspomagane komputerowo stosowane jest już przez firmy projektowe. Od inżyniera projektanta wymaga się znajomości aplikacji wykorzystywanych w tym procesie. Dla projektantów format 3D-CAD jest użytecznym narzędziem do wizualnego potwierdzenia trójwymiarowej konfiguracji na ekranie komputera, nawet, jeśli konfiguracje mają skomplikowane kształty. Dodatkowo, pracownicy sekcji wytwarzania przemysłowego mają dostęp do baz danych rysunków 3D-CAD, gdzie mogą analizować procesy produkcyjne i zaoferować zmiany zwrotne na rysunkach w począt-

kowym etapie projektowania [6]. Dane liczbowe kontroli do obróbki mogą być bezpośrednio wykonane z danych 3D-CAD.

W zależności od rodzaju opracowywanego modelu rozróżnia się modelowanie:

- bryłowe (objętościowe),
- powierzchniowe (ściankowe),
- krawędziowe (szkieletowe).

Edycja cech modelu bryłowego jest najbardziej efektywnym sposobem modelowania. Polecenia edycyjne są związane najczęściej z pewnymi operacjami technologicznymi. Polecenia obejmują proste operacje, jak np. fazowanie czy zaokrąglanie krawędzi lub bardziej złożone operacje, jak np. projektowanie złożonych otworów.

2. Cele i objekty badań

Celem modelowania jest uzyskanie wiarygodnego modelu matematycznego, który umożliwi prześledzenie zachowanie się obiektu w różnych warunkach. Model obiektu jest ograniczonym zbiorem właściwości wybranych ze względu na cel badań. Dla opracowywanych modeli funkcjonalnych i diagnostycznych systemów wtryskowych uwzględnia się głównie własności zewnętrzne (fizykochemiczne, konstrukcyjne i wymiary) obiektu [17].

Modele geometryczne powinny pokazać lokalizację geometryczną wyróżnionych elementów obiektu i wzajemne powiązania, a mają zwykle postać opisowo-graficzną lub złożonego rysunku technicznego. Cele są poznawcze i aplikacyjne, wybranego szczególnego obrazu rzeczywistości.

Ze względu na skomplikowaną budowę elementów układu zasilania w artykule celem było zastosowanie nowoczesnych metod do oceny geometrii aparatury wtryskowej współczesnych okrętowych silników spalinowych.

Dane geometryczne wymagane były do określenia relacji stan – symptom diagnostyczny na etapie wytwarzania i eksploatacji. Wyniki modelowania powinny być też najbardziej zbieżne do badań eksperymentalnych. Badania autora wykazały, że problem oceny stanu dotyczy również obiektów nowych, które często są dopuszczane do eksploatacji z początkową niezdatnością [11, 12].

Badane objekty, w aspekcie diagnostycznym i tribologicznym, pochodziły z silników okrętowych typu AL20/24 i z systemem Common Rail raz zostały mierzone po wytworzeniu, wymontowane profilaktycznie w czasie obsługi lub po stwierdzeniu stanu niezdatności.

Celem prac było określenie cech geometrycznych głównych elementów aparatury wtryskowej, a w artykule przedstawiono przykładowo dla rozpylacza wtryskiwacza.

3. Metody pomiarów

Z każdą j -tą cechą obiektu związany jest obszar F_j zawierający wartości odpowiadających stanowi zdatności ze względu na C_{mi} cechę. Cechy obiektu w trakcie jego istnienia (projektowania, wytwarzania i eksploatacji) pod wpływem czynników wymuszających roboczych i zewnętrznych ulegają zmianom.

Element podsystemu wtryskowego można traktować, jako pewną ilość materiału rozmieszczonego w przestrzeni ograniczonej powierzchniami $F_i(x, y, z) = 0$. Aby materiał zidentyfikować w sposób jednoznaczny należy opisać materiał w każdym punkcie przestrzeni ograniczonej powierzchniami $F_i(x, y, z) = 0$.

W fazie projektowania obiekt występuje zazwyczaj w postaci abstrakcyjnej, ponieważ jest to wizja postaci konkretnej, są bowiem projektowane jego cechy, które mają zapewnić uzyskanie pożądanych właściwości użytkowych.

W fazie wytwarzania dokonuje się realizacji abstrakcyjnej postaci do założeń projektowych, osiągając wartości cech początkowych przy danym poziomie dokładności wykonania i pomiarów. Po wytworzeniu obiekt przechodzi do fazy eksploatacji, gdzie ulega zużyciu i uszkodzeniom.

Cechy stanu są zbiorem wielkości, które opisują skład i strukturę badanego przedmiotu:

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_i, \dots, c_n\} \quad (1)$$

gdzie i – skończony ciąg indeksów.

Zbiór cech opisujących element można przedstawić w postaci macierzy, a trzy pierwsze wiersze opisują cechy pierwotne:

$$C_k = [C_{k1}, C_{k2}, C_{k3}, \dots, C_{kn}] \quad (2)$$

gdzie:

$k = 1$ cechy makrogeometryczne,

$k = 2$ cechy mikrogeometryczne,

$k = 3$ cechy strukturalne.

Cechy makrogeometrii zawierają informacje dotyczące długości, szerokości, grubości, średnicy oraz prostopadłości, równoległości, współosiowości itp. z dopuszczalnymi błędami [8]. Cechy opisujące mikrogeometrię to parametry profilu pierwotnego, falistości i chropowatości [16].

Zastosowane metody pozwalają na określenie zewnętrznych i wewnętrznych wymiarów geometrycznych z odpowiednią dokładnością, aby uzyskać relacje stan – sygnał w modelu diagnostycznym obiektu. Znając cechy stanu obiektu, można wyznaczyć symptomy diagnostyczne jak i parametry funkcjonalne:

$$S_n = f(c_1, c_2, \dots, c_i, \dots, c_n) + N \quad (3)$$

gdzie N – zakłócenia.

Zbiór chwilowych wartości wszystkich cech przyjętych do jego opisu wyznacza stan obiektu przy danym poziomie wiedzy i techniki. Stan nie-

zdatności obiektu wystąpi, jeżeli w dowolnej chwili czasu t cecha C_{mi} przybiera wartości spoza tego obszaru:

$$\bigwedge_{i \in \{1, j\}} C_i : C_{mi}^{zd} \leq C_{mi} \leq C_{mi}^{zg} \quad (4)$$

gdzie – C_{mi}^{zd} , C_{mi}^{zg} dolne i górne wartości j -tego obiektu dla i -tej cechy.

Zależność (4) pozwoli zakwalifikować obiekty aparatury wtryskowej do określonej klasy, co jest istotne na etapie wytwarzania, jak i eksploatacji informując o udziale wymiarów, które osiągnęły stan graniczny w czasie obsługi [17 cz. 3 rozdz. 6].

Najbardziej istotnymi parametrami konstrukcyjnymi, jak się okazuje, są parametry wewnętrzne, a średnice, powierzchnie i objętości występują w modelach matematycznych procesu wtrysku w silnikach spalinowych [12]. Sposób ich pomiaru jest bardzo utrudniony ze względu na dostęp do tych wymiarów. Autorzy wykorzystali metody geometryczne do określenia tych wymiarów oraz przyrządy stykowe i bezstykowe do takich pomiarów (mikrometry, średnicówki czujnikowe, mikroskopy, profilometry itp.) renomowanych firm opisanych w pracach [3, 6, 13, 16].

Geometria badanych obiektów została zmierzona i poddana analizie między innymi przy użyciu profilometru optycznego WYKO NT1100 (rys. 1). Przyrząd ten umożliwia pomiar topografii powierzchni wykorzystując zjawisko interferencji fal świetlnych, w porównaniu z tradycyjnymi profilometrami ma wiele zalet [3], jak krótki czas pomiaru z rozdzielczością pionową bliską mikroskopii sił atomowych (AFM). Umożliwia on uzyskiwanie informacji o powierzchni w dwóch trybach: PSI – phase-shifting interferometry (interferometria przesunięcia fazy), oraz VSI – vertical scanning interferometry (interferometria skanowania pionowego).

Zakres pionowy przyrządu wynosi 1 mm przy rozdzielczości pionowej 0,1 nm (tryb PSI). Dzięki zastosowaniu układu różnych interferometrów możliwy jest pomiar topografii z różną rozdzielczością poziomą. Obiektów o powiększeniu 5x obrazuje obszar 1,24 x 0,94 mm z rozdzielczością pionową 2,5 μm . Maksymalna rozdzielczość pozioma, przy użyciu obiektywu o powiększeniu 20x, wynosi 409 nm dla obszaru 301x229 μm . Automatyczny tryb przesuwania próbki (ang. stitching) umożliwia pomiar próbek o rozmiarach 100 x 100 mm. Pomiar oparte na zjawisku interferencji fal świetlnych ma wiele korzyści w porównaniu z tradycyjnymi profilometrami, jak krótki czas pomiaru z rozdzielczością pionową bliską mikroskopii sił atomowych (AFM).

Pomiar pomiarów kształtu i profilu wykonano na specjalizowanym przyrządzie Hommel Roundscan 535 (rys. 2). Oprócz pomiarów typowych odchyłek geometrycznych jak okrągłość, prostoliniowość czy

stożkowość przyrząd ten umożliwia również pomiar chropowatości powierzchni.



Rys. 1. Profilometr optyczny WYKO NT1100

Fig. 1 Optical profilometer WYKO NT1100

Urządzenie wyposażono w obrotowy stół z pneumatycznym łożyskowaniem, co zapewnia wysoką precyzję pozycjonowania mierzonego detalu. Głowica pomiarowa przyrządu umożliwia ustawienie końcówki pomiarowej w dowolnym kierunku, pozwala to na pomiar odchyłek geometrycznych części o skomplikowanych kształtach zarówno zewnętrznych jak i wewnętrznych.

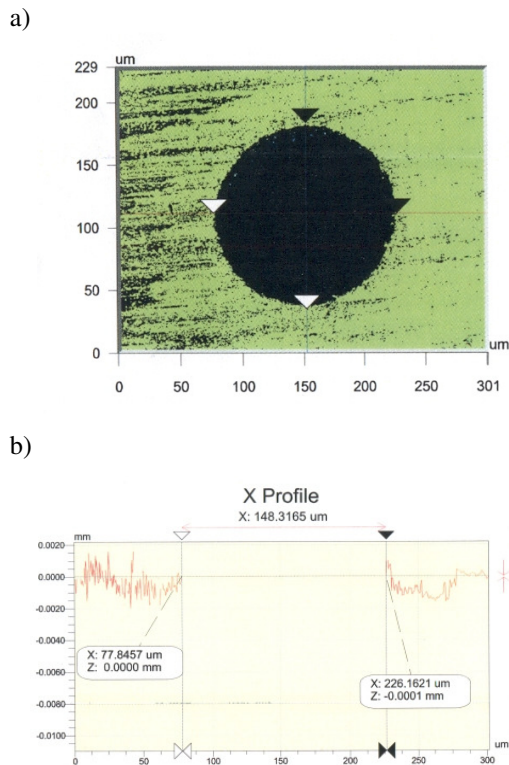


Rys. 2. Przyrząd Hommel Roundscan 535

Fig. 2. Device Hommel Roundscan 535

Do określenia geometrii badanych obiektów, zastosowano również fotografię, gdzie dla uniknięcia refleksu zastosowano filtr polaryzacyjny. Zdjęcia wykonywano również za pomocą aparatów fotograficznych i kamer video współpracujących z mikroskopami (rys. 3). Uwzględnienie kolorów w obrazach cyfrowych pozwoliło zachować informację o postaci zużycia i nagromadzonych osadach.

Modele geometryczne poszczególnych elementów aparatury wtryskowej w formie 3D opracowano za pomocą programów typu CAD (komputerowego wspomaganie projektowania).



Rys. 3. Pomiar średnicy otworu wtryskowego rozpylacza wtryskiwacza na podstawie zdjęcia mikroskopowego: a) zdjęcie otworka, b) wynik pomiaru

Fig. 3. Measurement of the bore of the injection hole of the injector nozzle based on the microscopic image: a) taking the eyelet, b) result of the measurement

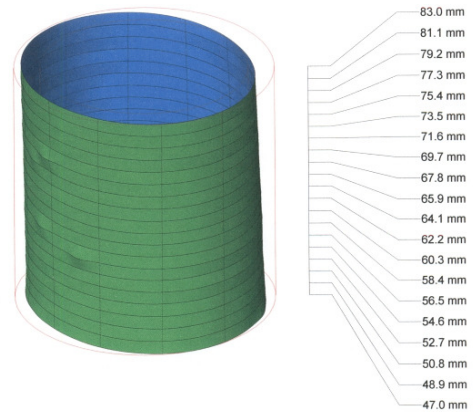
4. Odzworowanie iglicy rozpylacza

Konwencjonalny rozpylacz wtryskiwacza jest parą precyzyjną składającą się z korpusu i iglicy dokładnie do siebie dopasowanych z określonym przez konstrukcję luzem. Iglica jest prowadzona w otworze korpusu rozpylacza, a dolna jej część ma powierzchnię stożkową, która wraz z gniazdem stożkowym korpusu stanowi szczelny zawór zamykający przepływ paliwa do studzienki i otworów rozpylających. Iglica i korpus rozpylacza wykonane są ze stali stopowej utwardzanej powierzchniowo do znacznej twardości, a ich współpracujące powierzchnie są szlifowane i docierane.

Iglica składa się z powierzchni istotnych, od których stanu zależy funkcjonowanie rozpylacza, oraz nie istotnych. Do istotnych zalicza się część prowadzącą iglicy, decydującą o przeciekach oraz oporach ruchu oraz stożek uszczelniający. Pomiar średnicy w części prowadzącej iglicy w różnych płaszczyznach dokonano między innymi za pomocą mikrometru [13].

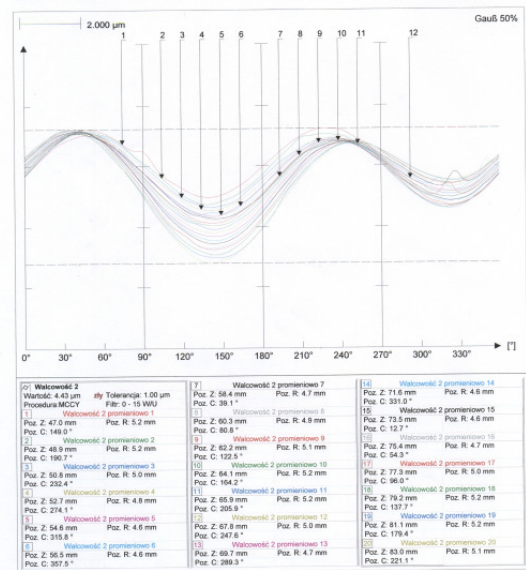
Na rys. 4 pokazano płaszczyzny pomiaru części prowadzącej iglicy rozpylacza, natomiast na rys. 5, 6 i 7 wyniki pomiarów walcowości i okrągłości przykładowej iglicy.

Na rys. 8 pokazano analizę walcowości i okrągłości badanej przykładowej iglicy. Wyniki pomiarów okrągłości – wykres zarysu (rys. 7), a szczególnie rozkład harmonicznych (rys. 8) – informują o dominującym wpływie okrągłości. Pomiar tych odchylek dostarczą bardzo ważnych informacji o charakterze współpracy części tworzących parę precyzyjną.



Rys. 4. Płaszczyzny pomiaru części prowadzącej iglicy

Fig. 4. Measurement planes of the pilot guide needle

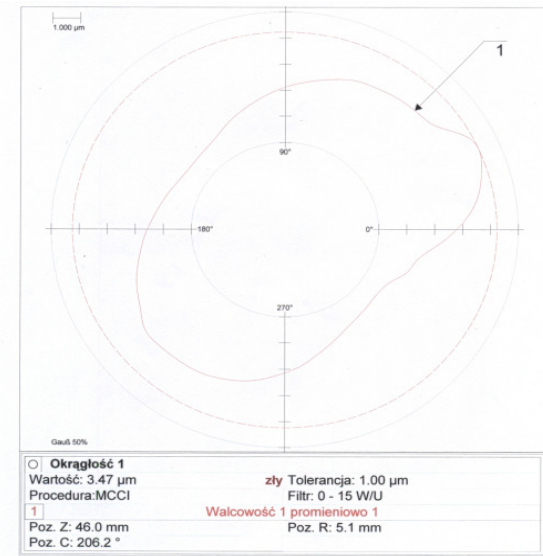


Rys. 5. Wyniki pomiarów walcowości części prowadzącej iglicy

Fig. 5. The results of measurements of the pilot guide needle cylindricity

Wnioski płynące z analizy wykresów odchylek informują między innymi o rozkładzie i wartościach luzów w parze, naciskach i zużyciu współpracujących elementów. Amplitudy pozostałych składowych, a w szczególności trzeciej i czwartej są mniejsze średnio o 30%. Ten sam charakter odchyłki kształtu występuje we wszystkich rozpatrywanych przekrojach (rys. 6). Można w tym miejscu zaryzykować przypuszczenie, że podczas pracy elementy wykonywały nieznaczny ruch obrotowy

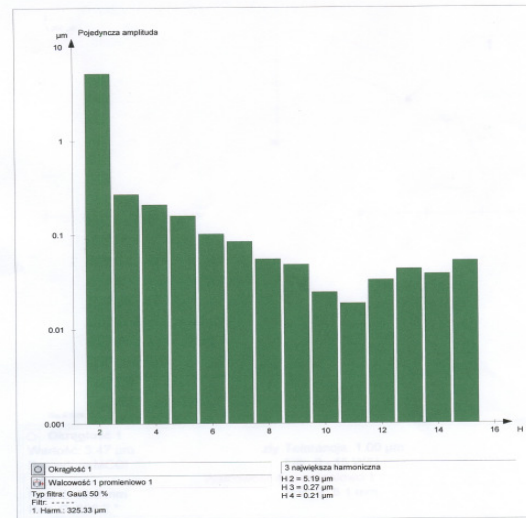
względem siebie lub przebiegał on w ograniczonym zakresie.



Rys. 6. Pomiary okrągłości części prowadzącej iglicy

Fig. 6. Measurements of spire leading parts roundness

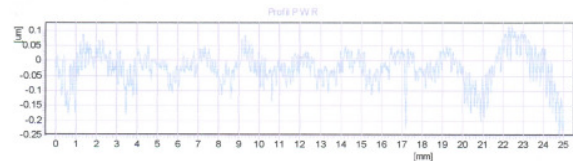
podjęto badania tarcia i zużycia pary korpus – iglica rozpylacza [9].



Rys. 8. Analiza walцовości i kołowości przykładowej iglicy rozpylacza

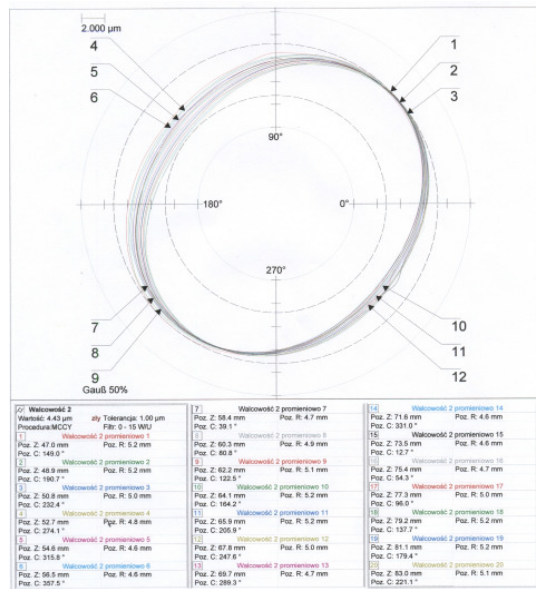
Fig. 8. The cylindricity and circularity analysis of exemplary injector needle

Na rys 9. przedstawiono przykładowy profil mierzonej powierzchni iglicy rozpylacza.



Rys. 9. Przykładowy profil mierzonej powierzchni iglicy rozpylacza

Fig. 9. Exemplary profile of the measured surface of injector needle



Rys. 7. Odchyłki okrągłości na różnych wysokościach części prowadzącej iglicy

Fig. 7. Deviation of roundness for different height of leading parts

Wykresy zużycia, w tym zmian kształtów par precyzyjnych, wykonano dla współczesnych prototypowych rozwiązań aparatury wtryskowej systemu Common Rail [15].

Struktura geometryczna powierzchni iglicy to zbiór wszystkich nierówności powierzchni rzeczywistej (odchyłki kształtu, falistości, chropowatości). Ze wszystkich dziedzin metrologii wielkości geometrycznych pomiary chropowatości uważane są za najtrudniejsze i jednocześnie istotne w technikach wytwarzania, niezawodności i tribologii [16]. Stąd

Zarejestrowany profil powierzchni pozwala opisać całą strukturę geometryczną powierzchni w trzech prostokątnych kierunkach. Problem ten jest istotny wówczas, gdy obiekt ma mieć dużą trwałość, niezawodność oraz małe opory ruchu determinujące straty tarcia, które są badane. Profil powierzchni ma wpływ na lokalne naciski jednostkowe, które mogą zostać przekroczone, objętość oleju powierchni, opory tarcia i związane z tym straty energii oraz niezawodność.

Skupiono się na analizie profilu pierwotnego (niefiltrowanego) mikrostruktury, jak i falistości makrostruktury. Do klasyfikowania profilu powierzchni oraz sprawdzania wymagań konstruktorów i technologów wprowadzono opis ilościowy za pomocą parametrów liczbowo charakteryzujących stan parametrów profilu zgodnie z nowymi normami [16]. Do istotnych parametrów do oceny powierzchni w zastosowaniach badawczych i przemysłowych zalicza się: wartość rzędnej, wysokości wzniesienia, głębokości wgłębienia, szerokość elementu profilu.

Kolejną grupę stanowią parametry pionowe, amplitudowe, dotyczące wartości średnich rzędnych profilu.

Średnią arytmetyczną rzędnych profilu chropowatości R_a (pierwotnego P_a , falistości W_a) wyznaczona się z zależności:

$$P_a(R_a, W_a) = \frac{1}{l} \int_0^l |z(x)| dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z_i| \quad (5)$$

gdzie:

$z(x)$ – równanie profilu chropowatości,

z – rzędna i -tego punktu profilu,

n – liczba punktów podziału odcinka elementarnego,

l – odcinek elementarny profilu (pierwotnego, chropowatości lub falistości).

Średnia kwadratowa rzędnych profilu pierwotnego P_q (chropowatości R_q , falistości W_q) określona jest wzorem:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l z^2(x) dx} \approx \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (6)$$

Z punktu widzenia oceny powierzchni iglicy istotne są również parametry poziome, odległościowe oraz mieszane.

Współczynnik nachylenia profilu pierwotnego P_{ku} (chropowatości R_{ku} , falistości W_{ku}) wewnątrz odcinka elementarnego oblicza się ze wzoru:

$$P_{ku}(R_{ku}, W_{ku}) = \frac{1}{R_q} \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} z^4(x) dx \approx \frac{1}{R_q} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i^4 \quad (7)$$

gdzie z_i – rzędna i -tego punktu profilu.

Nowoczesne przyrządy z do pomiaru powierzchni z cyfrowym przetwarzaniem zmierzonych wartości umożliwiają obliczenie wielu parametrów.

Ponieważ iglica współpracuje z korpusem rozpylacza, to do ich oceny należy wykonać analizę trójwymiarową, czyli topograficzną.

Na rysunkach wykonawczych podano tolerancje wymiarów oraz kształtu i położenia oraz stanu powierzchni. Otrzymane wyniki wskazują na znaczne ich przekroczenie dla obiektów zarówno nowych, jak i eksploatowanych.

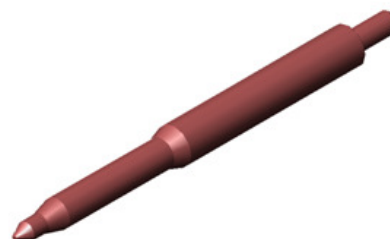
5. Opracowanie modeli geometrycznych

Systemy CAD pozwalają na szkicowanie i modelowanie geometryczne. W modelowaniu geometrycznym stosuje się:

- opis analityczny, gdzie wymiary (punkt, linia, powierzchnia, bryła) odnoszą się do układu współrzędnych;
- opis parametryczny, w którym elementy geometryczne odnoszą się bezpośrednio do atrybutów przypisanych do elementów (promień, wysokość).

Zgromadzenie wymiarów badanych elementów w postaci biblioteki pozwoliło na opracowanie

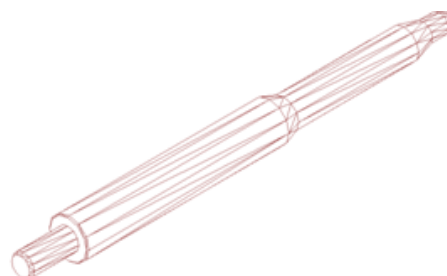
modeli geometrycznych poszczególnych elementów, co dla iglicy przedstawiono na rys. 10 i 11.



Rys. 10. Model bryłowy iglicy rozpylacza w formacie 3D

Fig. 10. Solid model of the injector needle in format 3 D

Model bryłowy uzupełniony danymi materiałowymi oraz zamocowaniami i obciążeniami umożliwił analizę wytrzymałościową najczęściej metodą elementów skończonych. Przy pomocy edytora wektorowego typu CAD można wykonać rysunek podziału modelu na elementy skończone.

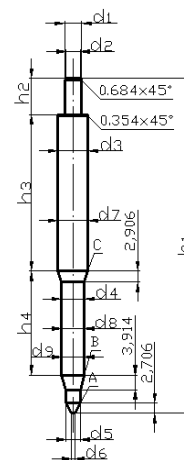


Rys. 11. Rysunek poglądowy iglicy rozpylacza w formacie 3D

Fig. 11. The demonstrative picture of the injector needle in format 3 D

Na podstawie modelu bryłowego można opracować rysunek techniczny (rys. 12), a także wytworzyć prototyp.

Ponieważ iglica współpracuje z korpusem rozpylacza, to do jej oceny należy wykonać analizę trójwymiarową, czyli topograficzną.



Rys. 12. Rysunek iglicy rozpylacza z naniesionymi wymiarami

Fig. 12. The drawing of injector needle with marked dimensions

Na rysunkach wykonawczych podano tolerancje wymiarów oraz kształtu i położenia oraz stanu powierzchni. Otrzymane wyniki wskazują na znaczne ich przekroczenie dla obiektów zarówno nowych, jak i eksploatowanych.

Modele geometryczne i matematyczne mogą być ze sobą powiązane. Po wprowadzenie zmiennych matematycznych (parametrów) do modelu geometrycznego (zwłaszcza do wymiarów) istnieje możliwość wprowadzania równań określających zależności między tymi zmiennymi i automatycznie modyfikującymi model geometryczny. Parametryzacja zapewnia wzajemną zgodność między modelem geometrycznym a modelem matematycznym.

6. Podsumowanie i wnioski

Badania geometrii aparatury wtryskowej za pomocą stosowanych metod pomiarowych są bardzo pracochłonne ze względu na czas realizacji. Wymagają odpowiednio specjalistycznych przyrządów pomiarowych o dużej dokładności. Utrudnieniem podczas badań mogą być zanieczyszczenia, media robocze i substancje konserwujące, które znajdują się na badanych elementach. W pracach położono nacisk na cechy konstrukcyjne decydujące o stanie technicznym aparatury wtryskowej.

Dostępne przyrządy nie są wystarczające by, zmierzyć wszystkie cechy geometryczne. W niektórych przypadkach można tylko zmierzyć wymiary zewnętrzne.

Z przeprowadzonych badań wynikają następujące wnioski:

- możliwe jest, stosując z dużą dokładnością pomiary geometryczne, otrzymanie wiarygodnych wyników pomiarów istotnych cech konstrukcyjnych elementów aparatury wtryskowej;
- większość z badanych elementów przekroczyła dopuszczalne tolerancje, które zaleca producent, co sprawia, że dane elementy nie nadają się do dalszej eksploatacji;
- duży rozrzut wyników pomiaru średnic spowodowany jest błędem kształtu, a zwłaszcza okrągłości i walcowości;
- wykonując zdjęcia badanego obiektu można analizować przy pomocy programów komputerowych do obróbki obrazów niektóre wymiary;
- za pomocą programów CAD opracowano modele krawędziowe i bryłowe badanych elementów;
- im bardziej skomplikowany obiekt, tym bardziej specjalistyczne przyrządy wymagane są do pomiarów;
- ze względu na niedostępność problemem jest wykonanie pomiaru przestrzeni wewnętrznej pokrywy pompy wtryskowej;
- przy pomiarach, jak i analizie obrazów, występują problemy z jednoznacznym ustaleniem krawędzi obiektów.

Nomenclature/Skróty i oznaczenia

C	Feature /cecha
F	Surface/powierzchnia
I	Elementary segment of the profile /odcinek elementarny profilu
N	Interference/zakłócenie
P _a	Arithmetic mean of ordinates of the primitive profile /Średnia arytmetyczna rzędnych profilu pierwotnego
P _{ku}	Slope factor of the primitive profile /współczynnik nachylenia profilu pierwotnego

R _a	Arithmetic mean of ordinates of the profile of the coarseness /Średnia arytmetyczna rzędnych profilu chropowatości
R _q	Square average of ordinates of the coarseness /Średnia kwadratowa rzędnych chropowatości
S	Symptom (parameter)/symptom (parameter)
W _a	Arithmetic mean of ordinates of the profile of the waviness /Średnia arytmetyczna rzędnych profilu falistości
x, y, z	Coordinates/współrzędne

Bibliography/Literatura

- | | | | |
|-----|---|-----|---|
| [1] | Budzik G., Miechowicz S., Marciniak A.: Zastosowanie metody Reverse Engineering do odtwarzania modelu geometrycznego wirnika turbosprężarki. Journal of KONES Powertrain and Transport 2006, Vol. 13, No 4, s. 101–106. | [3] | Gazdecki A., Rucki M., Jermak Cz. J., Majchrowski R., Andrałojć P., Różański L.: Contemporary Quality Management system with 3D surface analysis dimensional inspection and non-contact thermal diagnostics. AMO Kranevo'08, Bułgaria 2008. |
| [2] | Drozdowski J.: Studium obciążeń cieplnych, kawitacji i niezawodności rozpylaczy silników okrętowych. Wyd. Wyższej Szkoły Morskiej, Szczecin 1998. | [4] | Idzior M., Merkiś J., Tarkowski P., Wiechecki W.: Przegląd nieniszczących metod oceny powierzchni przylgni gniazd korpusów |

- rozpylaczy paliwa. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. Maszyny Robocze i Pojazdy 1993 nr 40, s. 75–87.
- [5] Jaskólski J., Miechowicz S., Budzik G.: Geometry analyze of piston of IC engine with Reverse Engineering using. Journal of KONES 2005, Vol. 12, No. 1–2, s. 141–146.
- [6] Jermak C., Monieta J.: Pomiary cech stanu technicznego rozpylaczy silników okrętowych spalających olej napędowy. Diagnostyka 2004 vol. 31, s. 7–12.
- [7] Li M., Cui H., Guan Y.: Numerical Simulation and improvement of a locomotive Diesel Nozzle. 25th World Congress CIMAC, Vienna 2007, s. 1–7.
- [8] Migdalski J. (red.): Inżynieria niezawodności. Poradnik. Wyd. AT-R Bydgoszcz, Bydgoszcz 1992.
- [9] Monieta J.: Badanie siły tarcia spoczynkowego w rozpylaczach wtryskiwaczy silników okrętowych z unieruchomionymi iglicami. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn 2007 nr 4, s. 63–77.
- [10] Monieta J.: Model funkcjonalny wtryskiwacza średnioobrotowego silnika okrętowego. Journal of KONES Powertrain and Transport 2007 Vol. 14, No 3, s. 423–428.
- [11] Monieta J.: Problemy jakości wytwarzania wtryskiwaczy silników okrętowych typu AL20/24. Marine Technology 2000. Szczecin–Dziwnówek 2000, s. 211–217.
- [12] Monieta J., Choromański T.: Zastosowanie sztucznej inteligencji do identyfikacji typowych uszkodzeń wtryskiwaczy silników okrętowych. Diagnostyka 2008 nr 4, s. 139–144.
- [13] Monieta J., Łukomski M.: Metody i środki oceny stanu technicznego rozpylaczy wtryskiwaczy silników okrętowych typu 6AL20/24. Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej 2005 nr 5, s. 383–391.
- [14] Sakabe H., Yamazaki Y.: The latest developments and technologies of the UE engines. CIMAC Congress 2007, Vienna Paper No. 43, pp. 1–9.
- [15] Stoeckli M., Affolter P., Otto H.: Durability and long-term stability of electronic fuel injection systems for Diesel, HFO and gas engines. CIMAC 2007, Viena 2007 paper 23, s. 1–9.
- [16] Wieczorowski M.: Wykorzystanie analizy topograficznej w pomiarach nierówności powierzchni. Rozprawy. Politechnika Poznańska, Poznań 2009, nr 429.
- [17] Żółtowski B., Cempel C.: *Inżynieria diagnostyki maszyn*. Wyd. Biblioteka Problemów Eksploatacji, Warszawa, Bydgoszcz, Radom 2004.

Mr. Czesław Jermak DEng. – doktor in the Faculty of Mechanical Engineering and Management at Poznań University of Technology.

Dr inż. Czesław Janusz Jermak – adiunkt na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej.



Mr. Radomir Majchrowski DEng. – doktor in the Faculty of Mechanical Engineering and Management at Poznań University of Technology.

Dr inż. Radomir Majchrowski – adiunkt na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej.



Mr Jan Monieta, DEng. – doctor in the Faculty of Mechanical Engineering at Maritime University in Szczecin.

Dr inż. Jan Monieta – adiunkt na Wydziale Mechanicznym Akademii Morskiej w Szczecinie.

