

Dr hab. inż. Janusz Kozak, prof. PG
Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa
Politechnika Gdańska, Gdańsk

INŻYNIERIA ODWROTNA W OKRĘTOWNICTWIE

STRESZCZENIE

W procesie budowy i eksploatacji dużych obiektów inżynierskich często zachodzi potrzeba inwentaryzacji i odtworzenia stanu rzeczywistego kształtu czy też położenia elementów konstrukcji. Powody takiej potrzeby wynikają najczęściej z braku albo nieaktualności dokumentacji w procesie wytwarzania, a jeszcze częściej przebudowy czy modernizacji. Coraz częściej potrzeby takie pojawiają się w okrętownictwie. Proces tworzenia – niejako – od nowa dokumentacji obiektu rzeczywistego jest nazywany „inżynierią odwrotną” i rozwija się obecnie intensywnie z racji pojawienia się szeregu nowych urządzeń do bezdotykowego pozyskiwania danych z rzeczywistych obiektów konstrukcyjnych, a następnie ich przetwarzania. W artykule przedstawiono idee, instrumenty i przykłady realizacji procesów z obszaru inżynierii odwrotnej w okrętownictwie.

Słowa kluczowe: proces projektowania, inżynieria odwrotna, instrumenty pomiarowe

REVERSE ENGINEERING IN SHIPBUILDING

SUMMARY

During the process of manufacturing or exploitation time of floating object, very often necessity of inventory control for recovery of technical documentation of real shape or installation's scheme took place. Such needs are caused because of lack or out of date documentation of object, especially during the process of refitting or modernization. Such process of creation - from none – of the documentation of existing object is called “reverse engineering” and is widely developed nowadays because of new generations of non-touching measurements instruments as well as programs for such data acquired processing. In the paper the idea, instrumentation and case studies of reverse engineering in shipbuilding industry are presented.

Keywords: design process, reverse engineering, measurement tools

WSTĘP

Proces projektowania obiektu inżynierskiego – a w tym i statku - biegnie w określonym porządku – zdefiniowanie problemu i określenie warunków brzegowych, opracowanie koncepcji, wykonanie (często kilku) szkicowych opracowań koncepcyjnych, wybór rozwiązania i opracowanie projektu wstępnego, weryfikacja obliczeniowa i ewentualna korekta koncepcji, wykonanie projektu końcowego. Oczywiście każdemu etapowi towarzyszą stosowne obliczenia dla wyznaczenia parametrów zadania. Tak też jest i w wypadku projektowania jednostek pływających – tyle że zazwyczaj jest to proces przebiegający po spirali „projektowej” co oznacza, że do wersji ostatecznej dochodzi się w efekcie kilku iteracji. Efektem końcowym, w wypadku obiektu pływającego, jest dokumentacja konstrukcyjna zawierająca komplet danych do wytworzenia i utrzymywania jednostki w trakcie eksploatacji. Jeden komplet takiej dokumentacji jest przekazywany armatorowi wraz z jednostką.

Statek jest eksploatowany przez wiele lat – często ponad 20 - i w tym okresie przechodzi różne koleje. Zdarza się często, że dokumentacja ginie lub zostaje zdekompletowana. Jak wówczas odtworzyć dane jednostki a w szczególności informacje o jej kształcie, lub przebiegu instalacji, koniecznych na przykład w procesie remontu kapitalnego lub przebudowy ?

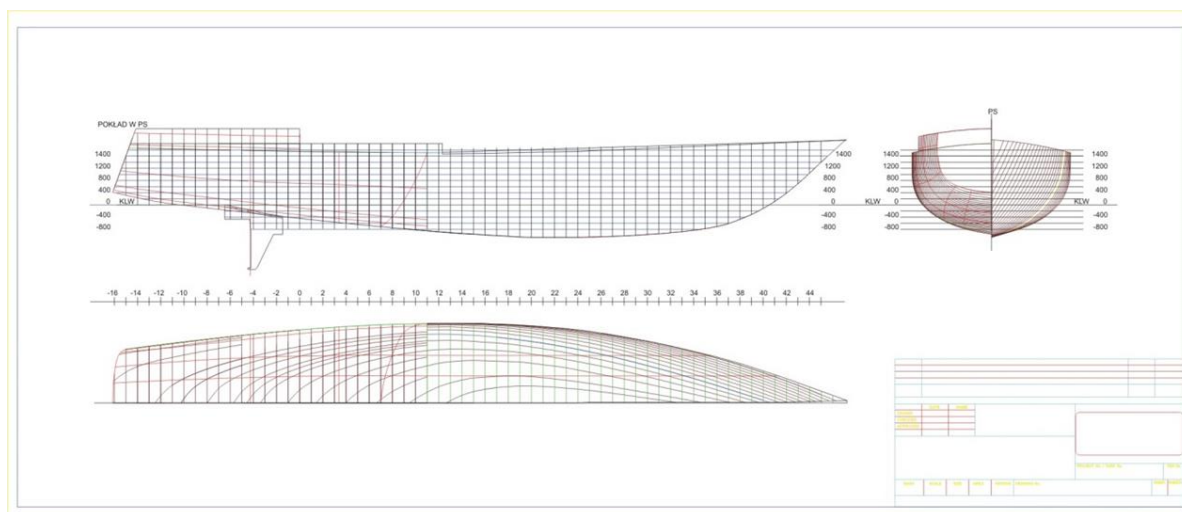
Pojawia się wtedy potrzeba wykonania dokumentacji rzeczywistego obiektu inżynierskiego na podstawie wyników jego inwentaryzacji. Mówimy wówczas o procesie „inżynierii odwrotnej” (*ang. reverse engineering*).

Szczególnym problemem, z którym muszą borykać się budowniczowie kadłubów jednostek pływających jest utrwalenie lub odtworzenie zapisanego kształtu kadłuba. Kadłub jest bryłą, zazwyczaj o kształtach płynnych, jednakże taką, że zapis matematyczny jej kształtu jest niemożliwy – rys.1.



Rys. 1. Kadłub statku jest bryłą o złożonym kształcie

Do niedawna jedynym sposobem pozostawało utrwalanie tego kształtu poprzez wykonanie i utrwalenie w postaci rysunku technicznego szeregu przekrojów seriami płaszczyzn wzajemnie prostopadłych. Z takiego rysunku od czasów zamierzonych do XX w. zdejmowano wymiary i kształty w trakcie budowy jednostki. Do realizacji pozyskiwania współrzędnych kształtu wykorzystywano przyrządy traserskie: pion, poziomnica, przymiary, kątowniki stałe i nastawne, a również geodezyjne: niwelator, czy teodolit. Uzyskane dane kształtu utrwalano w postaci szablonów – płaskich lub przestrzennych a następnie przetwarzano w rysunek zawierający wspomniane serie przekrojów – zwany rysunkiem linii teoretycznych statku – rys.2.



Rys. 2. Rysunek linii teoretycznych kadłuba dużego jachtu morskiego

Pojawienie się lasera na poziomie zastosowań powszechnych, a również intensywny rozwój elektroniki, w tym miniaturyzacja systemów mikroprocesorowych, otworzyły nowe możliwości dla rozwoju sprzętu pomiarowego – zarówno poprzez dodawanie elektronicznych przystawek do urządzeń istniejących, jak też i powstawanie zupełnie nowych rozwiązań. Te nowe urządzenia – nie znane często jeszcze w I połowie XX w to skaner laserowy, cyfrowa kamera wielkiej rozdzielczości czy tachimetr.

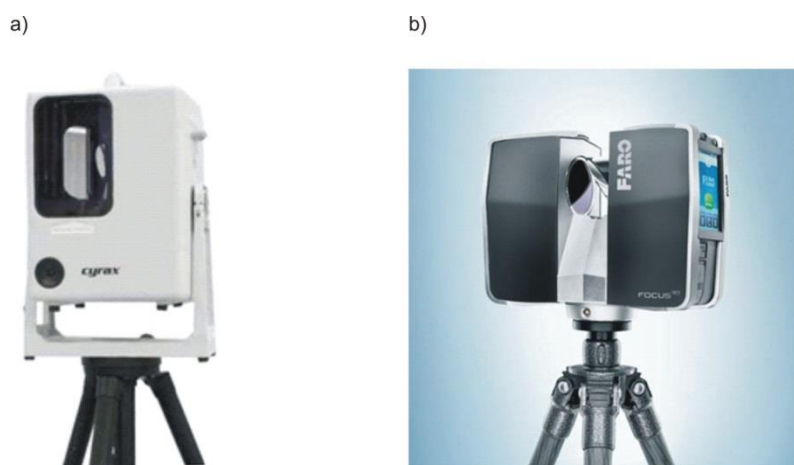
Przykłady zastosowania skaningu laserowego

Skanery laserowe umożliwiają pozyskiwanie danych z konstrukcji przestrzennych w bardzo szybki i dokładny sposób. Działają one wykorzystując laser impulsowy sprzężony z kamerą cyfrową oraz komputerem, a procedura pomiaru bazuje na wysyłaniu linii skanujących (*ang. scan lines*) do obiektu mierzonego. Punkty uzyskane bezpośrednio z pomiaru są reprezentowane we współrzędnych biegunowych, opisane za pomocą dwóch kątów i odległości, następnie przelicza się je na

współrzędne kartezjańskie. Zasięg pomiarowy dla którego uzyskiwane wyniki są zadawalające wynosi od 0,5 do 100 metrów. Zasada pomiaru odległości w skanerach laserowych jest podobna do zasady stosowanej w innych instrumentach: system mierzy czas przejścia promieni wysłanych i odbitych od obiektu w płaszczyźnie pionowej, a w efekcie pracy urządzenia uzyskuje się „chmurę punktów” (*ang. point cloud*), która wyświetlana jest na ekranie komputera.

Głównymi parametrami charakterystycznymi skanerów jest długość fali, moc skanera wiążąca się z klasą bezpieczeństwa oraz średnica plamki zależna od odległości skanera od obiektu, która decyduje bezpośrednio o dokładności wyznaczania przez instrument odległości i ostatecznej precyzji tworzenia modelu 3D. Wraz ze wzrostem odległości ulega zmianie średnica plamki rozbieżnej wiązki lasera, co decyduje o przydatności skanera. Instrumenty do inwentaryzacji dużych obiektów przemysłowych mają zwykle nieduży zasięg, lecz mniejszą plamkę świetlną, co implikuje większą dokładność. Typowy sprzęt przeznaczony do pomiarów topograficznych Ziemi ma kilkakrotnie większe możliwości odległościowe, za to jego precyzja osiąga poziom kilku centymetrów.

Oprócz typowo optycznych parametrów, istotne są również informacje opisujące możliwości mechaniczne takie jak prędkość skanowania, pole widzenia, a także minimalna wielkość mierzonego przyrostu, które to cechy decydują o funkcjonalności i użyteczności instrumentu pomiarowego. Urządzenia tego typu mierzą do 1000 punktów na sekundę bez względu na warunki atmosferyczne oraz porę dnia (rys. 3).



Rys. 3. Skanery laserowe: a) Cyrax 2500 [2], b) FARO Focus3D [1]

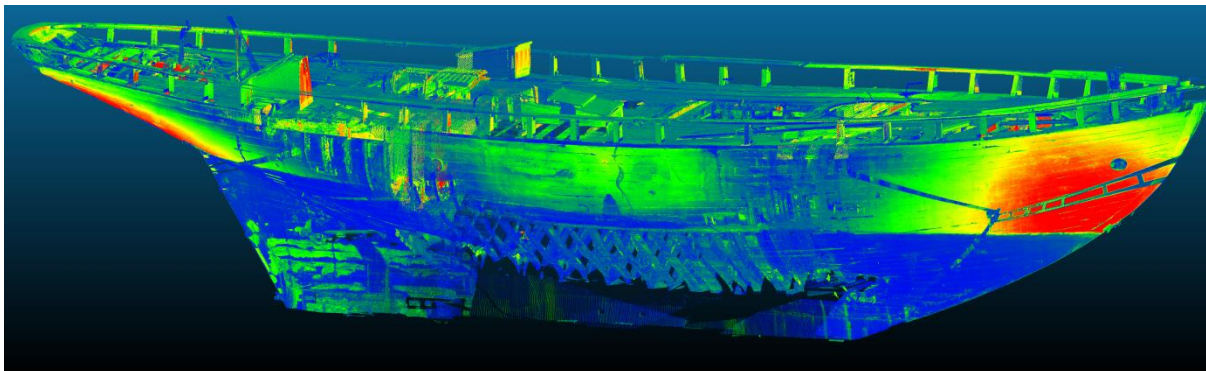
Pole widzenia skanera określone jest w płaszczyźnie pionowej i poziomej. Skanery posiadają zazwyczaj możliwość obrotu o 360° wokół osi pionowej i dlatego funkcjonalność danego instrumentu określa zakres pracy w pionie. Minimalna wielkość mierzonego przez skaner przyrostu w kierunku poziomym i pionowym decyduje bezpośrednio o dokładności tworzonego modelu z mierzonego obiektu. Mniejszy przyrost powoduje uzyskanie większej liczby punktów z obiektu, a tym samym trójwymiarowy model jest w mniejszym stopniu interpolowany. Ze względu na dużą liczbę punktów pomiarowych wynoszącą w zależności od wielkości skanowanego obiektu nawet kilka milionów, ich opracowanie i wykonanie nawet prostych operacji wymaga sporego zasobu pamięci i procesora. Dlatego też integralnym oprzyrządowaniem każdego skanera jest komputer, a także aparat cyfrowy, który może być zarówno wbudowany, jak i występować jako urządzenie zewnętrzne.

Zdjęcie wykonane przez operatora służy jako podkład do określenia obszaru skanowania, a także stanowi dodatkową dokumentację techniczną, mogącą służyć również do pomiarów fotogrametrycznych bliskiego zasięgu. Fotografie stosowane są również do wiernego odzwierciedlenia skanowanych obiektów poprzez nakładanie na nie odczytanych przez skaner danych geometrycznych.

Niezbędnym elementem każdego skanera jest jego oprogramowanie. Główna aplikacja steruje pracą skanera i służy do wykonywania podstawowych operacji na chmurze punktów. Dzięki niej operator ustala parametry działania instrumentu, precyzuje obszar pomiarowy, określa rozdzielczość pomiaru, ewentualnie może podać maksymalny błąd wyznaczenia punktu i wówczas rozdzielczość dobierana jest automatycznie. Oprogramowanie sterujące pracą skanera służy również do łączenia skanów wykonanych z różnych stanowisk pomiarowych na podstawie specjalnych punktów referencyjnych, które również służą do transformacji lokalnego układu współrzędnych, w którym pracuje skaner, do układów geograficznych. Ponieważ każdy z punktów posiada swoje współrzędne x , y , z , można dzięki temu bez dodatkowego oprogramowania przeprowadzić podstawowe odczyty wartości odległości pomiędzy punktami, kierunku, itp..

Skanowanie laserowe 3D zapewnia szybki, precyzyjny i bezinwazyjny pomiar. Uzyskana liczba danych jest olbrzymia, a uzyskane punkty pomiarowe tworzą przestrzenny obraz skanowanego obiektu. Zgromadzone w ten sposób dane można wykorzystywać w dowolny sposób. Skaner laserowy 3D pozwala zastąpić tradycyjnie prowadzone prace pomiarowe wykonywane instrumentami optycznymi. Pozwala on na łatwe poznanie i zastosowanie technologii skanowania

przestrzennego bez konieczności znaczącej zmiany sposobu pracy geodety. Wszelkie korzyści ze stosowania techniki skanowania przestrzennego są dostępne od razu, a wśród nich wymienić można pomiary tachimetryczne, monitoring sytuacji terenowej, obliczenia objętości, operacje na powierzchniach i inne. Pomiar obiektu może być dokonywany z różnych stron, a otrzymany obraz, poprzez obróbkę komputerową, składany w całość, dzięki czemu otrzymujemy przestrzenną bryłę obiektu, którą można poddawać dalszej obróbce celem odczytu potrzebnych wymiarów. Na rys. 4 pokazano skan kadłuba jachtu „Generał Zaruski” przed remontem (2009), wykonany skanerem laserowym „ScanStation” firmy Leica. Oprócz geometrii widać również drobne elementy na pokładzie, cienie od konstrukcji osłaniającej i zróżnicowany poziom sygnału od poszycia (kolory) na podstawie którego można oceniać stan materiału (np. korozję rozwijającą się pod warstwą farby).



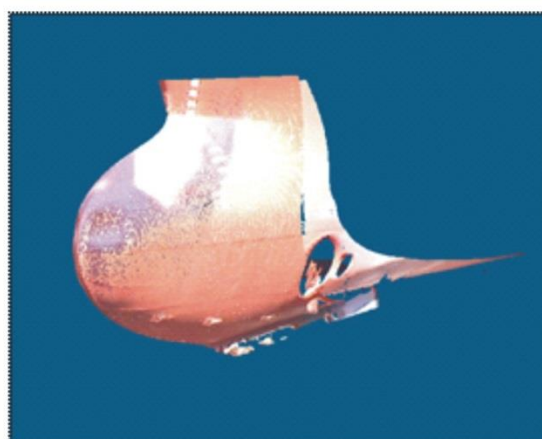
Rys. 4. Przykład możliwości skanera laserowego (C. Żrodowski)

Dalsze przetwarzanie tak pozyskanych danych jak np. generowanie skomplikowanych modeli 3D, a także wykonywanie z nich rysunków 2D, modelowanie konstrukcji rurociągów, przewodów, elementów architektonicznych, wpasowywanie konstrukcji w chmurę punktów i wyszukiwanie kolizji, wykonanie wizualizacji i animacji, generowanie powierzchni, itp., wymaga już zastosowania specjalistycznego oprogramowania. W przypadku aplikacji zaawansowanych ważne jest, aby były one kompatybilne z oprogramowaniem inżynierskim, powszechnie używanym przez konstruktorów. O to zadanie muszą zabiegać producenci tego typu urządzeń. Skaner laserowy 3D może pracować przy słabym oświetleniu, również w nocy, mierzy znacznie szybciej i z większą dokładnością niż urządzenia klasyczne, a do jego obsługi wystarczy tylko jedna osoba. W okrętownictwie skaning laserowy jest techniką szczególnie interesującą, z uwagi na możliwość pomiaru nie tylko kształtu powierzchni kadłuba, która jest powierzchnią trudno zapisywalną matematycznie, ale również wiązań wewnętrznych czy też nadbudówek (rys. 5).

a)



b)



Rys. 5. Pomiaru kształtu rejonu dziobowego statku: a) stanowisko skanera [3], b) uzyskany obraz

Jednym z problemów jakie mogą wystąpić w procesie odtwarzania np. kształtu kadłuba dużego obiektu oceanotechnicznego jest trudność w bezpośrednim przekazaniu bardzo dużej liczby niezbędnych danych z chmury punktów do oprogramowania przetwarzającego. W takim przypadku w sytuacji wielu aplikacji niezbędne jest reprezentowanie kształtu w formie 2D poprzez wykonywanie przekrojów odwzorowywanej konstrukcji. Przy pomiarach kształtu konstrukcji

okrętowych oprogramowanie do procesu odtwarzania kształtu na podstawie wyników pomiarów często pracuje w oparciu o konwersję danych do postaci upłynnionych powierzchni NURBS (*ang. Non Uniform Rational Basis Spline*) co może prowadzić do różnych interpretacji danych przez różne oprogramowania. Wybór oprogramowania zależy również od typu zadania pomiarowego i systemu użytego w procesie projektowania statku.

Na podstawie uzyskanych danych istnieje możliwość wygenerowania z chmury punktów trójwymiarowych obiektów, które następnie można zastosować do stworzenia modeli CAD z przypisanymi wielkościami obiektów w przestrzeni wirtualnej. Główną trudnością opracowania danych pomiarowych jest dowiązanie „chmury punktów” uzyskanej z pomiarów w lokalnym układzie współrzędnych, do układu globalnego. Dokonuje się tego za pomocą co najmniej trzech punktów kontrolnych transformowanych z układu lokalnego do globalnego. Możliwość tworzenia numerycznych modeli 3D obiektów o złożonej konstrukcji szczególnie takich jak kadłub statku czy też wnętrze siłowni, daje precyzyjne informacje o jego strukturze przestrzennej. Skany wykonane z różnych stanowisk można łączyć ze sobą dzięki czemu można uzyskać obraz większych obiektów. Uzyskane dane można w różny sposób przetwarzać, generując warstwicę lub „nakładając” siatkę i uzyskać współrzędne jej naroży. Można je też modelować. Końcowym wynikiem jest gładki barwny obraz mierzonego obiektu, który powstaje poprzez nałożenie tekstury na powierzchnię składającą się ze szkieletu punktów (rys. 6). W zależności od potrzeb dane ze skanera mogą być eksportowane do programów typu CAD (np. MicroStation®, AutoCAD®), gdzie są przetwarzane w zależności od potrzeb.

a)



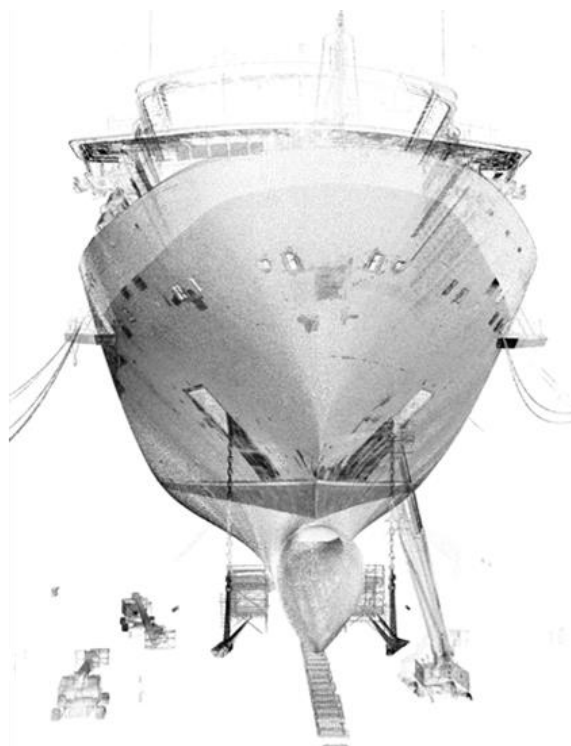
b)



Rys. 6. Przetwarzanie danych: a) chmura punktów, b) model CAD [4]

Dzięki skaningowi laserowemu możliwy jest szybki pomiar konstrukcji, a następnie przestrzenna jej wizualizacja. W modelu obiektu można dokonać wirtualnego przelotu (*ang. fly-through*). Oprogramowanie skanera umożliwia konwertowanie punktów do konkretnych obiektów geometrycznych. Informacje można przedstawiać w dowolny sposób, zarówno w postaci 3D jak i 2D całościowego modelu bądź też wybranych jego fragmentów. Pomiar skanerem laserowym znacząco obniża liczbę roboczogodzin zarówno w fazie wykonywania pomiarów jak i potrzebnych do obróbki uzyskanych rezultatów.

Jako przykład takiego działania niech posłuży proces zdejmowania kształtu kadłuba znanego statku „QUEEN ELIZABETH”. Jest to jeden z największych, luksusowych liniowców pasażerskich na świecie. Zaprojektowany w stylu przypominającym klasyczne liniowce przemierzające oceany w ubiegłym stuleciu, o długości 294 m, może na 12 pokładach zabrać ponad 2000 pasażerów. W 2014 roku statek przechodził modernizację kadłuba. Z racji kosztów wyłączenia z eksploatacji, proces ten musiał być realizowany bardzo szybko. Dla potrzeb instalacji nowych stabilizatorów konieczne było pozyskanie informacji o kształcie podwodnej części kadłuba. Wykonano to techniką skanowania laserowego przy pomocy skanera FARO Laser Scanner Focus3D X 130. Na rys. 7 pokazano widok jednostki w doku a obok uzyskany skan zarysu kadłuba.



Rys. 7. „Queen Elisabeth” w trakcie modernizacji: a) statek w doku, b) skan kadłuba [4]

Odtworzenie kształtu kadłuba jachtu z zastosowaniem metod tachimetrycznych

Jedną z metod projektowania kształtu kadłuba nowego statku jest podejście oparte o jednostkę podobną. Odbyna się to albo wykreślnie - na papierze, lub też numerycznie. Jednakże coraz częściej spotyka się przypadki modyfikacji kształtu w naturze poprzez poszerzanie, przedłużanie czy też lokalne modyfikacje formy czy też makiety jednostek wykonywanych z laminatów. Taka procedura wymaga pręcej czy później posiadania rysunku linii teoretycznych nowego kształtu – choćby do prowadzenia analizy stateczności – a to zmusza do odtworzenia kształtu powstałej jednostki z natury. Zazwyczaj wykonuje się to metodą żmudnego trasowania oraz długotrwałych pomiarów i najczęściej odbywa się w uciążliwych warunkach hali produkcyjnej.

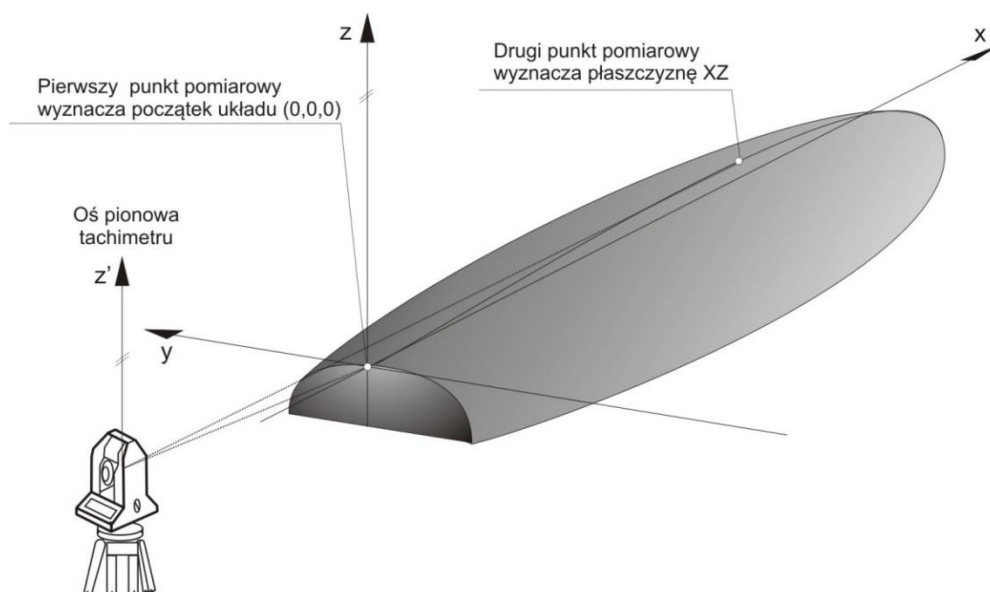
W celu zaprezentowania istoty tej metody poniżej przedstawiono proces odtworzenia kształtu kopyta jachtu zmodyfikowanego poprzez dodanie wstawki przedłużającej. Do uzyskania kształtu nowej bryły wykorzystano nowoczesne urządzenia do trasowania laserowego (laser i pryzmat pentagonalny) oraz tachimetr [5].

Tachimetr jest instrumentem optoelektronicznym służącym do automatycznego, dokładnego, przestrzennego pozycjonowania punktów obiektu w przestrzeni 3D. Wynikiem pomiaru są współrzędne biegunowe: kąt poziomy, pionowy oraz odległość skośna, która jest mierzona za pomocą bardzo precyzyjnego dalmierza wbudowanego w lunetę instrumentu. Współrzędne biegunowe punktu mogą być przeliczane w czasie rzeczywistym na współrzędne kartezjańskie X Y Z w układzie współrzędnych związanym z mierzonym obiektem. Na rys. 8 pokazano widok tachimetru TDA 5005 firmy Leica.



Rys. 8. Tachimetr Leica TDA5005 [6]

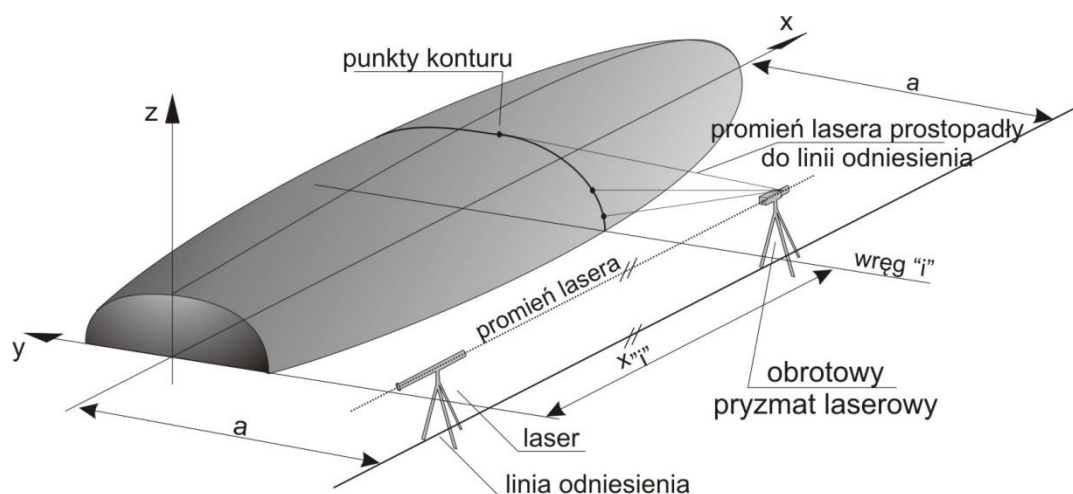
Do realizacji pomiarów użyto tachimetru Leica TDM 5000, który posiada zasięg odczytu do 5000 m, dokładność odczytu kierunku $0,6''$, a odległości $1\text{mm}+2\text{ppm}$. Proces odtwarzania kształtu kopyta jednostki przebiegał w kilku etapach. W pierwszej fazie – po wypoziomowaniu kadłuba – nastąpiło założenie i wczytanie układu współrzędnych: po ustawieniu tachimetru dokonano odczytu pierwszego punktu bazowego $(0,0,0)$, który stanowił początek układu współrzędnych w czasie pomiaru. Został w ten sposób jednocześnie przyjęty przebieg osi pionowej OZ (oś równoległa do osi pionowej instrumentu, przechodząca przez punkt $(0,0,0)$). W kolejnym etapie dokonano wczytania współrzędnych drugiego punktu wytyczającego kierunek X. Następuje wówczas wytyczenie płaszczyzny ZOZ (wytyczonej przez oś pionową OZ i punkt na kierunku X) i wyznaczenie osi OX (prosta prostopadła do osi OZ, przechodząca przez punkt $(0,0,0)$), a w efekcie wyznaczenie osi OY (oś normalna do płaszczyzny ZOZ i przechodząca przez początek układu współrzędnych) (rys. 9).



Rys. 9. Faza I - wyznaczanie układu współrzędnych

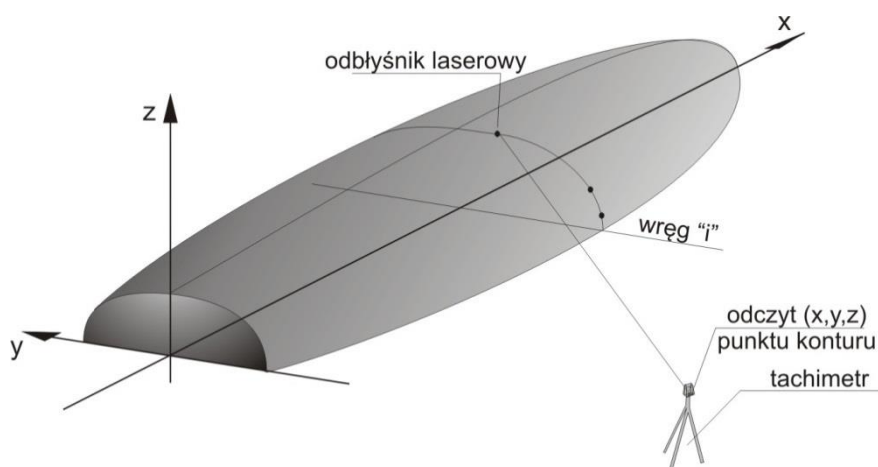
W przypadku konstrukcji okrętowych układ współrzędnych określają trzy płaszczyzny: płaszczyzna podstawowa, płaszczyzna symetrii statku, oraz płaszczyzna owręza – wszystkie wzajemnie do siebie prostopadłe. Wyniki większości pomiarów przedstawiane są właśnie w tym układzie. W przypadku konieczności zmiany stanowiska pomiarowego istnieje możliwość dalszego prowadzenia pomiarów w pierwotnym układzie współrzędnych pomierzanego obiektu. Należy zdefiniować dwa punkty nawiązania, które jednakowo dobrze widoczne są z obu stanowisk pomiarowych. Punkty te pozwalają zdefiniować wektor przemieszczenia układu współrzędnych instrumentu. W podobny sposób można transmitować dane pomierzone w układzie lokalnym na układ „statek”.

W kolejnej fazie należało na kadłubie nanieść miejsca położenia punktów pomiarowych tak, aby odpowiadały one z jednej strony generalnie zasadom rysunku linii teoretycznych, a z drugiej – wymaganiom programów, którymi miały być te linie generowane. W tym celu wyznaczono linię odniesienia równoległą do osi OX jednostki na podłodze hali (rys. 10).



Rys. 10. Faza II – nanoszenie punktów pomiarowych

Na tej linii naniesiono punkty współrzędnych x_i kolejnych przekrojów wręgowych zagęszczając je w części dziobowej i rufowej. Następnie wytyczono linię równoległą do linii odniesienia – generowaną przez promień lasera. Nad kolejnymi punktami współrzędnych x_i kolejnych przekrojów wręgowych ustawiano obrotowy pryzmat tak, że promień załamany pod kątem 90° do promienia odniesienia leżał w wyznaczonej płaszczyźnie wręznicowej. Przy pomocy obrotu pryzmatu nanoszono punkty pomiarowe w każdym żądanym przekroju wręznicowym (rys. 10).



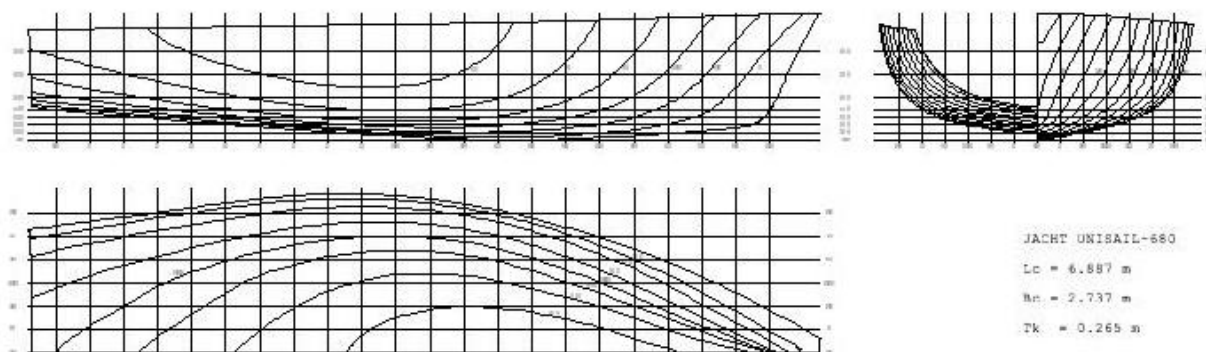
Rys. 11. Faza III – pomiar współrzędnych naniesionych punktów

Odczytu współrzędnych punktów na kadłubie dokonywano przy pomocy tachimetru wtyczonego w układ współrzędnych jednostki. Na punktach pomiarowych wyznaczonych w fazie II umieszczano odbłyśnik laserowy i dokonywano pomiaru współrzędnych x , y , z punktu (rys. 11). Proces ten powtarzano dla każdego przekroju wręcznicowego. Dane były zapisywane w pamięci urządzenia, a po zakończeniu cyklu pomiarowego zostały „zrzucone” do komputera w postaci tabeli rzędnych dla kolejnych przekrojów wręcznicowych. Pomimo faktu, iż pomiary realizowano w hali produkcyjnej o wysokim stopniu zapylenia powietrza, nie było problemu z uzyskiwaniem odbić od reflektora o wymiarach 10x10 mm. Przebieg pomiarów pokazano na rys. 12.

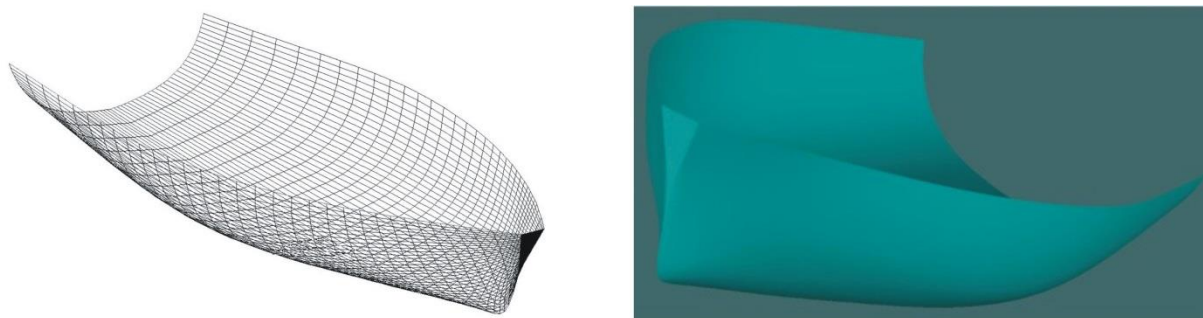


Rys. 12. Przebieg pomiarów kształtów kopyta jachtu [5]

Pomierzone wartości współrzędnych punktów konturów przekrojów wręcznicowych przetworzone do formatu MS Excel wczytano do programu MaxSurf. Po korektach i wygładzeniu uzyskanego kształtu wygenerowano linie teoretyczne jednostki. Pokazano je na rys. 13, a trójwymiarowy obraz odtworzonego kształtu na rys. 14.



Rys. 3. Odtworzone linie teoretyczne jednostki [5]



Rys. 44. Wizualizacja 3D odtworzonego kształtu jednostki [5]

WNIOSKI

- Rozwój mikroelektroniki i technik generacji i stosowania światła laserowego doprowadziło do wykształcenia się nowej generacji bezdotykowych instrumentów pomiarowych dalekiego zasięgu takich jak skaner laserowy 3D czy też tachimetr,
- Potrzeba ciągłej modernizacji obiektów inżynierskich takich jak jednostki oceanotechniczne wywołuje konieczność odtworzenia bądź wykonania od nowa dokumentacji technicznej tych obiektów. Często jest to związane z przeprowadzeniem pomiarów współrzędnych z odległości kilkuset metrów z dokładnością milimetrową,
- Obróbka informacji z tak przeprowadzonej inwentaryzacji wiąże się z przetwarzaniem znacznej liczby danych i wymaga specjalnego oprogramowania i szybkiego sprzętu,
- Proces odtwarzania informacji o konstrukcji istniejącej nosi nazwę „inżynierii odwrotnej” i staje się coraz szerzej stosowany w przemyśle.

LITERATURA:

- [1] FARO Laser Scanner Focus 3D Tech Sheet, FARO, 04REF201-415-PL,
- [2] <http://hds.leica-geosystems.com/en/>,
- [3] Soumagne J., Heister H.: Vermessungs- und Auswertungstechnische Voraussetzungen für eine As-Built-Aufnahme eines Schiffsrumpfes mit Hilfe von Industriemesssystemen und der Laserscanning-Technologie, Dr.-Ing. Wesemann GmbH, 2005,
- [4] Materiały udostępnione przez firmę FARO Technologies Polska Sp. z o.o.,
- [5] Klawikowska A., Kozak J., Puchowski B.: Pomiar kształtu kadłuba z wykorzystaniem metod tachimetrycznych. II Konferencja „Problemy Naukowo-Techniczne w Wyczynowym Sporcie Żeglarskim”, Polit. Warszawska, 2005,
- [6] <http://www.leica-geosystems.com/metrology>.