

**TECHNOLOGIA NAZIEMNEGO SKANINGU LASEROWEGO
W ZAGADNIENIACH INŻYNIERII ODWROTNEJ ORAZ ANALIZ
PROCESÓW DYNAMICZNYCH**

**TECHNOLOGY OF TERRESTRIAL LASER SCANNING IN PROBLEMS
OF REVERSE ENGINEERING AND DYNAMIC PROCESS ANALYSIS**

Łukasz Uchański¹, Lars Soerensen²

¹ Scan-3D Polska

² Scan-3D Berlin

SŁOWA KLUCZOWE: Naziemny Skaningu Laserowy, inżynieria odwrotna, analiza procesów dynamicznych, inwentaryzacja

STRESZCZENIE: Autorzy referatu przedstawiają możliwości związane z wykorzystaniem technologii naziemnego skaningu laserowego zarówno w zastosowaniach inwentaryzacyjnych obiektów architektonicznych jak również przemysłowych. Wykorzystanie nowoczesnych rozwiązań stosowanych przez firmę Scan-3D w realizacji projektów w wielu krajach europejskich zaprezentowane zostało w aspekcie omówienia pełnej ścieżki technologicznej prowadzenia prac inwentaryzacyjnych, mających na celu zebranie danych służących dalszemu przetworzeniu, wiernej i precyzyjnej rejestracji oraz zamodelowaniu szczegółów architektonicznych. Poruszone zostaną zagadnienia determinujące jakość końcową wykonywanych prac dokumentacyjnych jak również metodykę standaryzacji stosowanej do opisanego typu prac zgodnie z wytycznymi technicznymi precyzyjnie określającymi wymagania dokładnościowe oraz formalne prowadzenia takich prac. Scharakteryzowana jest również metodyka prac oraz wyniki analiz procesów dynamicznych, wykonywanych na modelu, który powstał w wyniku zastosowania technologii naziemnego skaningu laserowego. Metodykę tę zastosowano między innymi w przemyśle stoczniowym jak i energetycznym. Rezultaty prezentowane są na przykładzie inwentaryzowanych turbin elektrowni wodnych. Doświadczenie firmy w wykonywaniu tego typu prac pozwala na szczegółowe opisanie możliwości wykorzystania omawianego narzędzia pomiarowego dla potrzeb tworzenia wiernych oraz wysoce dokładnych modeli umożliwiających symulację zjawisk mających wpływ na stan badanych obiektów. Autorzy, prezentując wyniki swoich prac, zwracają szczególną uwagę na fakt, że technologia naziemnego skaningu laserowego jest narzędziem mogącym być wykorzystanym w wielu innych dziedzinach przemysłu, gdzie oferowana dokładność oraz ilość zgromadzonych danych pomiarowych jest w stanie precyzyjnie opisać analizowane zjawiska, przyczyny ich wystąpienia oraz zachodzące zmiany.

1. WSTĘP

W referacie autorzy przedstawiają różne podejścia do wykorzystania technologii naziemnego skaningu laserowego (NSL). Poprzez pryzmat wyników prac inwentaryzacyjnych rozpatrywane są możliwości oraz ograniczenia stosowania tej metody w pozyskiwaniu danych pomiarowych. W innym aspekcie zastosowania technologii NSL autorzy zwracają uwagę, na jej wykorzystanie w analizach procesów dynamicznych w przemyśle. W tym

przypadku tematyka przedstawiana jest w oparciu o wykonany pomiar i skonstruowany model turbiny Kaplana w elektrowni wodnej w Arrau w Szwajcarii. Szczegółowy opis analiz oraz prac wykonywanych na tym obiekcie posłużył do opisu zastosowanej technologii inżynierii odwrotnej będącej w istocie metodą inwentaryzacji szczegółowej przedmiotowego obiektu. Tym samym autorzy udowadniają, iż technologia naziemnego skaningu laserowego stosowana jest coraz częściej przy wykonywaniu specjalistycznych prac inwentaryzacyjnych zarówno w budownictwie jak i w przemyśle. Pomimo że specyfika wykorzystywania tego narzędzia została już opisana w publikacjach, to trudności oraz ograniczenia związane z jej wykorzystaniem nadal nie zostały dogłębnie przeanalizowane i wyjaśnione. W oparciu o przeprowadzone prace autorzy poszerzają wiedzę w tym zakresie poświęcając uwagę elementom które, doprecyzowują systematykę realizacji prac pomiarowych wykorzystujących technologię NSL. Dla wyjaśnienia problemu prezentowanych i omawianych analiz autorzy zamieszczają schemat charakteryzujący wzajemne relacje pomiędzy tematyką naziemnego skaningu laserowego a technologią inżynierii odwrotnej. Zauważają ponadto iż technologia inżynierii odwrotnej powiązana jest z innym tematem, jaki stanowi analiza procesów dynamicznych. Analiza procesów dynamicznych znajduje szczególne zastosowanie w monitoringu obiektów przemysłowych i dotyczy urządzeń pracujących w trybie ciągłym. Zdaniem autorów opracowania, jej wykorzystanie to kolejny krok na drodze poszerzania możliwości wykorzystania NSL. Zeskanowanie obiektu, wykonanie jego wiernego modelu 3D oraz porównanie go z istniejącą dokumentacją pierwotną, to nowatorskie możliwości wpisujące naziemny skaningu laserowy jako technologię w tematykę inżynierii odwrotnej. W tak rozumianej obecnie rzeczywistości prowadzenie na przykład analiz aqua-dynamicznych, w oparciu o zebrane i zamodelowane dane jest czymś więcej niż dotychczas umożliwiały stosowane technologie. Dla uzasadnienia tej tezy autorzy referatu prezentują ścieżkę technologiczną przeprowadzonego procesu analizy dynamicznej przepływu wody przez turbinę elektrowni wodnej wraz z procesem wnioskowania o skutkach jakie może ona wywołać we wstępnej i późniejszej fazie jej eksploatacji.

2. MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA I ZASTOSOWANIA TECHNOLOGII NAZIEMNEGO SKANINGU LASEROWEGO W PROCESIE ZBIERANIA I PRZETWARZANIA DANYCH DLA CELÓW INWENTARYZACYJNYCH – DOŚWIADCZENIA PRODUKCYJNE

Rozpatrując wykorzystanie narzędzia jakim jest naziemny skaner laserowy do pozyskania danych w procesie inwentaryzacji, należy przede wszystkim skupić się na wymaganiach stawianych przez wytyczne regulujące postać i zawartość wymaganych przepisami dokumentów technicznych. Aby stworzyć należycie udokumentowaną podstawę wykonania projektu rekonstrukcji, odbudowy bądź adaptacji obiektu, niezbędne jest wnikliwe opracowanie kompletu informacji o danym obiekcie. W informacjach tych poza dokumentacją historyczną, orzeczeniem stanu istniejącego i szczegółowymi zaleceniami eksperckimi, podstawową rolę spełniają dokładne pomiary inwentaryzacyjne. Stanowią one podstawę wspomnianego kompletu informacji oraz materiał dla projektu rekonstrukcji danego obiektu. W terminologii fachowej nosi on nazwę inwentaryzacji (Rys. 1). Jedną z metod służących do jej powstania dotychczas była metoda fotogrametryczna. Specyfika metody fotogrametrycznej umożliwia bardzo szybki, obiektywny i trwały zapis wycinka przestrze-

ni, a potem wielokrotnie wykorzystanie tak zarejestrowanych obrazów (materiałów dokumentalnych obiektu) do celów merytorycznej ich interpretacji.



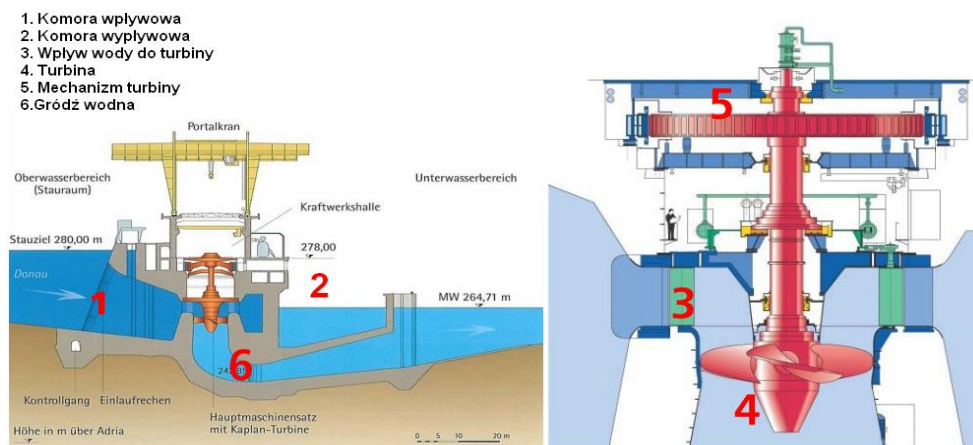
Rys. 1. Rysunki wektorowe Kościoła Św. Marii W Berlinie oraz kolumnady pałacu w Poczdamie

Metodą alternatywną, a niekiedy uzupełniającą w stosunku do metody fotogrametrycznej spośród nowoczesnych rozwiązań technologicznych, jest metoda naziemnego skaningu laserowego, która staje się coraz bardziej popularna. W zakresie metod rejestracji przestrzennych danych pomiarowych jest najbardziej obiektywną i dokładną. Zwykle się już mówi iż „rozwija” ona narzędziowo dziedzinę opisywaną w geodezji i fotogrametrii określaną pojęciem inwentaryzacji która w rzeczywistości jest szczególnym rodzajem tzw. inżynierii odwrotnej. Co to jest inżynieria odwrotna? Według definicji to „proces badania produktu w celu ustalenia jak on dokładnie działa, a także w jaki sposób został wykonany”. Inżynieria odwrotna zazwyczaj wykorzystywana jest dla określenia niezbędnych informacji odnośnie danego obiektu poprzez możliwość zrekonstruowania jego pierwotnego kształtu. Powszechnie wiadomo iż fotogrametryczne metody pomiarowe znajdowały i znajdują po dzień dzisiejszy zastosowanie w opracowaniach dla potrzeb przemysłu w jego całym spektrum. Staje się jasnym iż korzystanie z najnowszych osiągnięć technologicznych, w tym z naziemnego skaningu laserowego potwierdza tę tezę i poszerza jego zakres zastosowań, na przykład w odtwarzaniu produktów związanych ze sferą industrialną. Należy mieć tu na uwadze istotny element tej technologii odnoszący się do sposobu akwizycji danych. Ich jakość oraz ilość powinny być bezpośrednio uzależnione od charakteru opracowania końcowego, jakie ma powstać w skutek prowadzonych prac. Uwzględnić przy tym jednakże należy również fakt iż na bazie tak wykonanego produktu, będziemy mogli prowadzić szereg analiz. Staną się one najprawdopodobniej podstawą w tworzeniu szeregu kolejnych opracowań analitycznych opartych o zrekonstruowane modele danego obiektu. Rozumując w ten sposób należy postrzegać metodę naziemnego skaningu laserowego jako znakomite narzędzie do pozyskiwania danych.

3. NARZĘDZIA SKANINGU LASEROWEGO A SPECYFIKA POMIARU

Naziemny skaning laserowy opiera się na technologii stosującej skanery laserowe 3D, czyli urządzenia pomiarowe pozwalające na przestrzenne wyznaczenie położenia dużych zbiorów punktów (tzw. chmur punktów) leżących na powierzchni danego obiektu. Rejestracja punktów przestrzeni wstępnie określona jest przez operatora odpowiedzialnego za wykonanie pomiaru, zaś następnie wykonywana jest automatycznie według zadanej rozdzielczości oraz parametrów skanowania. Zapis danych oraz ich magazynowanie, a następnie możliwość ich

eksportu do kilku różnych formatów plików z charakterystycznymi dla siebie cechami, zawiera informację o współrzędnych każdego punktu. Niesie ze sobą również dane o wartości odbicia oraz o jego tonacji w skali szarości bądź poprzez reprezentację w składowych RGB. Specyfika prowadzenia pomiaru z wykorzystaniem naziemnego skanera laserowego różni się nieco w zastosowaniach architektonicznych i przemysłowych. Opracowania inwentaryzacyjne obiektów budowlanych pozwalają na mniejsze zagęszczenie rejestrowanych chmur punktów. Powodem tego jest wymóg mniejszego zagęszczenia danych pomiarowych. Obniżona dokładność łączenia chmur punktów pozwala na wykorzystanie w praktyce drukowanych, papierowych tarcz celowniczych pełniących rolę „F-punktów” do łączenia kilku chmur punktów a nie, jak to ma miejsce podczas pomiarów przemysłowych, specjalnych sygnałów tzw. kul referencyjnych posiadających wyznaczony promień co zapewnia uzyskanie wyższej dokładności podczas łączenia chmur punktów. Jest to bezwzględnie stawiany wymóg przed wykonywaniem opracowań dla potrzeb analiz deformacji obiektów przemysłowych, uwzględniający również warunek większego zagęszczenia danych pomiarowych. Skanowanie fabryk oraz urządzeń mechanicznych niesie ze sobą w praktyce konieczność zwiększenia ilości stanowisk skanera, ze względu na występowanie miejsc trudno dostępnych.



Rys. 2. Przekrój przez turbinę Kaplana

Przykładowo, potrzeba dokładnej charakterystyki wnętrza turbiny Kaplana, postawiła przed autorami referatu wiele wyzwań odnoszących się do sposobu wykonania samego pomiaru. W efekcie zdecydowano się podzielić zarejestrowane chmury punktów na trzy klastry, wyrównywane i kalibrowane wewnętrznie, które następnie połączono przy pomocy punktów charakterystycznych oraz dodatkowych sfer występujących na nakładających się na siebie chmurach punktów. Wymogiem stawianym przez klienta był precyzyjny pomiar wnętrza turbiny, łopatek oraz kanału wpływowego i wypływowego. Dla tego celu została ona uprzednio opróżniona z wody i wstępnie oczyszczona z zanieczyszczeń nagromadzonych w trakcie eksploatacji. Wnętrze turbiny, oddzielone od rzeki metalową grodzia, umożliwiło dokonanie pomiarów na 20 stanowiskach. Pomieszczenia w których wykonywany był pomiar miały łączne wymiary 30 metrów długości i 10 metrów średnicy po-

przecnej, zwięzły się ku wewnętrznej części, w której umieszczona była turbina (Rys. 2). Rejestrację chmur punktów oraz łączenie klastrów wykonano w oprogramowaniu FARO Scene, zaś filtrację oraz post processing przeprowadzono w aplikacji LupoScan. Do modelowania kształtu turbiny posłużono się oprogramowaniem Rhinoceros, a następnie w oparciu o opracowany model przeprowadzono serię analiz procesów dynamicznych przy użyciu autorskiej aplikacji napisanej na Uniwersytecie Technicznym w Stutgarcie w Niemczech. Na marginesie powyższych rozważań zauważyć należy, iż w praktyce często podchodzi się w sposób nieprofesjonalny do zarejestrowanych chmur punktów. Pozbawia się je dalszego procesu obróbki, uzasadniając to stwierdzeniem że są one wystarczającym wynikiem inwentaryzacji danego obiektu. Filtry stosowane do tego typu prac są domyślnie implementowane przez specjalistyczne oprogramowanie. Użytkownik tworzący dokumentację końcową bądź model, kieruje się losowym, przypadkowym zestawem parametrów oferowanych przez pojedynczą aplikację (popołniając w ten sposób błąd nieświadomej utraty istotnych danych). Doświadczenie autorów wskazuje, że wstępne przetestowanie możliwych do wykorzystania filtrów oferowanych przez oprogramowanie dostarczane wraz ze skanerem często nie wystarcza bądź nie zapewnia żądanych efektów. Rozwiązaniem jest połączenie wiedzy wraz z praktyką oraz znajomością właściwości niezależnych platform do obróbki danych ze skaningu laserowego. Dopiero w ten sposób możliwym staje się uzyskanie zamierzonego produktu końcowego w postaci gotowego, poprawnie opracowanego modelu.

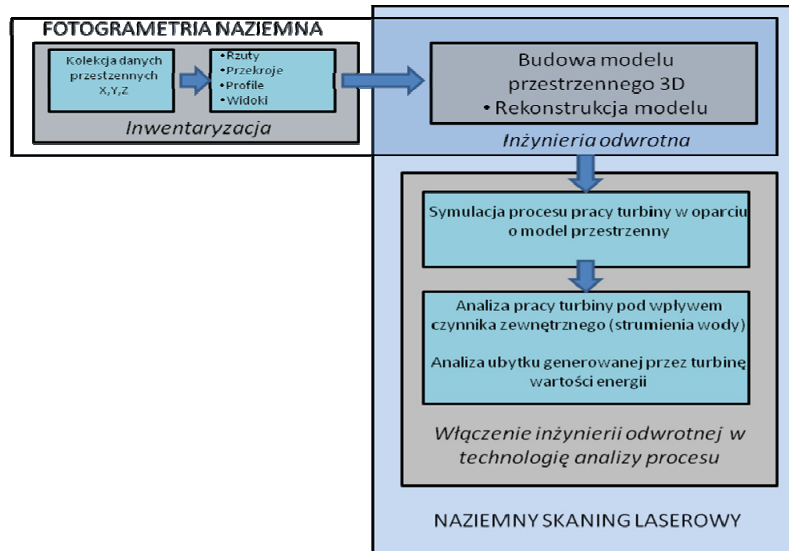
4. TECHNOLOGIA INŻYNIERII ODWROTNEJ W SYNERGII Z TECHNOLOGIĄ NAZIEMNEGO SKANINGU LASEROWEGO

Jak już wspomniano inżynieria odwrotna to proces badania produktu w celu ustalenia sposobu jego działania, oraz wykonania. Zazwyczaj stosowana jest w celu zdobycia niezbędnych informacji pozwalających na skonstruowanie modelu odpowiednika danego obiektu. Obecnie możemy wyróżnić cztery podstawowe, znane grupy zastosowań inżynierii odwrotnej:

- zastosowania w architekturze,
- zastosowania w przemyśle stoczniowym,
- zastosowania w opracowaniach przemysłowych,
- zastosowania w opracowaniach lotniczych.

Wykorzystanie technologii naziemnego skaningu laserowego w procesie zbierania danych pomiarowych umożliwia znaczne usprawnienie wykonywanych prac dla potrzeb inżynierii odwrotnej w stosunku do metod dotychczas stosowanych. Do niedawna najczęściej spotykane opracowania bazowały na danych pozyskanych za pomocą tak zwanych ramion skanujących, umożliwiających zarejestrowanie bardzo gęstej chmury punktów. Jednakże ze względu na specyfikę pomiaru urządzeń wielkogabarytowych w tym np. turbin elektrowni wodnych, a przede wszystkim ich rozmiaru, korzystanie z tego typu narzędzi stało się niemożliwe. Powyższy problem został rozwiązany dzięki możliwości pozyskania chmury punktów o wysokiej gęstości w postaci współrzędnych (x, y, z), z zachowaniem najwyższej możliwej dokładności. W skutek zastosowania odmiennej pod względem sposobu pomiaru, techniki wykorzystującej naziemny skaner laserowy, należało dostosować schemat systematyki pomiarów do zakresu prowadzonych prac. Pozwoliło to na skorelowanie zależności

między pojęciami inwentaryzacji oraz inżynierii odwrotnej w aspekcie wykorzystania do ich realizacji naziemnego skaningu laserowego.

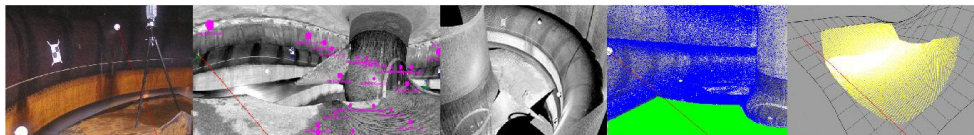


Rys. 3. Schemat ideowy zależności inżynierii odwrotnej od analiz procesów dynamicznych w czasie Δt

W znaczeniu praktycznym umożliwiło to wykorzystanie inżynierii odwrotnej, bazującej na skaningu laserowym w procesie tzw. analiz dynamicznych możliwych do wykorzystania w symulacjach na zbudowanym modelu danego obiektu (Rys. 3). Ten schemat autorzy zastosowali podczas badania wydajności energetycznej wspomnianej turbiny Kaplana.

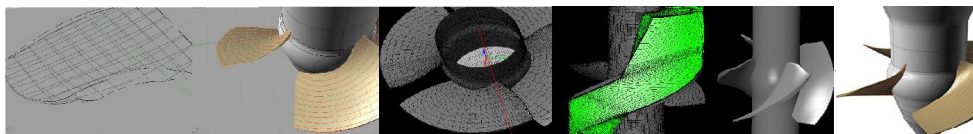
5. ANALIZA PROCESÓW DYNAMICZNYCH

Analiza procesów dynamicznych mających wpływ na działanie turbiny Kaplana stała się głównym zadaniem prac prowadzonych w ramach audytu elektrowni wodnej w Arrau w Szwajcarii. Początkowym założeniem projektu było jedynie przeprowadzenie inwentaryzacji poprzez pomiar przy użyciu naziemnego skaningu laserowego turbiny oraz jej elementów mocujących. W fazie późniejszej klient poszerzył zakres swoich oczekiwań o wykrycie możliwych odkształceń mechanizmu, a następnie o przeprowadzenie analizy geometrii łopatek w celu ustalenia przyczyn ubytku sprawności energetycznej badanej turbiny. Projekt wymagał zatem wysoce dokładnych zestawów danych pomiarowych.



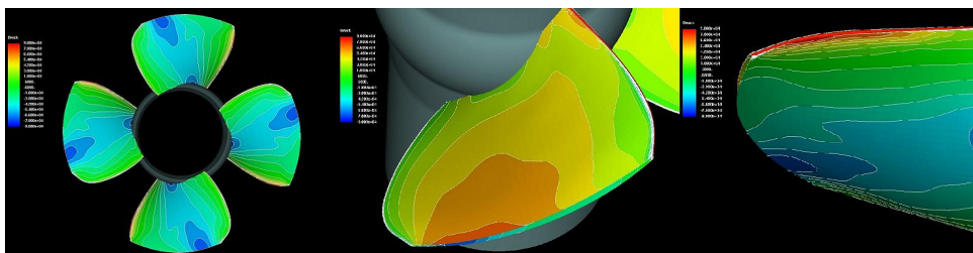
Rys. 4. Etapy realizacji projektu od lewej: skanowanie, rejestracja chmury punktów, filtracja, tworzenie tzw. „free forms”

Po zeskanowaniu obudowy oraz wnętrza turbiny skalibrowano zarejestrowane chmury punktów. Zostały one połączone w trzy klastry i następnie niezależnie wyrównane. Kolejnym krokiem było połączenie wszystkich zestawów przy użyciu kul referencyjnych umieszczonych w miejscach nakładania się sąsiadujących chmur punktów. Po tak przeprowadzonej obróbce całość ponownie wyrównano i przefiltrowano (Rys. 4). Na podstawie wycinka chmur punktów, obejmującego wnętrze turbiny oraz łopatki mechanizmu wykonano serię profili i przekrojów poprzecznych. Elementy te wykorzystane zostały do wykonania tzw. „free forms” umożliwiających wykonanie modelu 3D turbiny.



Rys. 5. Etapy realizacji projektu od lewej: tworzenie przekrojów, modelowanie łopatek, końcowy model 3D

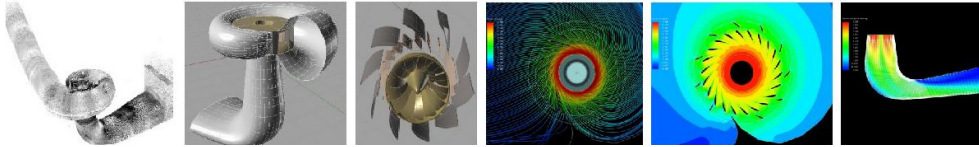
Kwestią wymagającą szczególnej uwagi stało się wierne odwzorowanie zarejestrowanego kształtu turbiny. Z praktyki wiadomo iż większość oprogramowań domyślnie dokonuje serii aproksymacji analizowanego obiektu, zaś w tym konkretnym przypadku na takie działanie nie było zgody. Zastosowano tutaj zatem autorską aplikację stworzoną na Uniwersytecie Technicznym w Berlinie, umożliwiającą samodzielne dopracowanie tworzonego modelu. Opracowany wierny model 3D turbiny Kaplana mógł wreszcie posłużyć do przeprowadzenia serii analiz dynamicznych (Rys. 5). Dwie podstawowe kwestie wymagające rozwiązania dotyczyły zniekształceń łopatek turbiny spowodowanych ciągle w nie uderzającym strumieniem wodnym oraz ich wpływu na efektywność energetyczną działania obiektu. Pierwszy aspekt został rozwiązany przy użyciu klasycznych metod inżynierii odwrotnej, to jest przez porównanie wykonanego modelu 3D z jego wzorcem podstawowym sporządzonym w oparciu o dane projektowe turbiny. Wykryte zniekształcenia zostały zaprezentowane w postaci hipsometrii wizualizującej model turbiny (Rys. 6).



Rys. 6. Mapy deformacji turbiny Kaplana stworzone na potrzeby analiz aqua-dynamicznych

Dane te posłużyły do przeprowadzenia analizy dynamicznej przepływającego i uderzającego w łopatki turbiny strumienia wody. Jak się okazało, zmiany w płaszczyznowości elementów mechanizmu spowodowały znaczące zmiany w trajektorii płynącego strumienia, tym samym zakrzywiając jego pierwotnie projektowany tor (Rys. 7). W wyniku konsultacji z ekspertami z zakresu aqua-dynamiki oraz energetyki wodnej stwierdzono, iż na tej bazie

można prowadzić dalsze analizy mające na celu określenie zmiany efektywności pracy turbiny. Realizacja tego projektu dowiodła poszerzenia możliwości wykorzystania technologii naziemnego skaningu laserowego dla potrzeb prowadzenia analiz dynamicznych.



Rys. 7. Wizualizacje opracowanej turbiny oraz symulacje przepływu strumienia wodnego

Autorom uświadomiła iż jedynym i podstawowym warunkiem utrzymywania stałego postępu i rozwoju w dziedzinie pomiarów precyzyjnych jest konieczność współpracy z przedstawicielami innych gałęzi przemysłu. Kooperacja taka umożliwi łatwiejszą adaptację osiągniętych rozwiązań i ukierunkowuje dalsze prace nad rozwojem zastosowań naziemnego skaningu laserowego w obszarze innych branż.

6. PODSUMOWANIE

Autorzy zwracają uwagę na zaprezentowane oraz opisane w referacie poszerzenie zakresu zastosowań naziemnego skaningu laserowego. Staje się to możliwe dzięki wykorzystaniu nowoczesnej technologii pomiarowej do prowadzenia analiz procesów dynamicznych. Opracowania inwentaryzacyjne dla potrzeb architektonicznych oraz inżynierii odwrotnej w przemyśle stają się coraz popularniejsze. Stawia to wyzwanie przed nowoczesnymi technologiami pozyskiwania, opartymi na zbiorach dużej ilości danych pomiarowych o wysokiej jakości w stosunkowo krótkim czasie. Koniecznym staje się według autorów uporządkowanie metodologii prowadzonych działań według wzorca podanego w referacie. Systematyka prac prowadząca od inwentaryzacji przez tworzenie modeli 3D, inżynierię odwrotną, aż do opracowań służących analizom dynamicznym umożliwia jasny podział hierarchiczny wykonywanych działań. Prowadzenie tego typu prac stało się możliwe dzięki interdyscyplinarnym konsultacjom fachowców reprezentujących różne branże. Współpraca pracowników sektora architektonicznego, geodezyjnego, fotogrametrycznego, mechanicznego oraz energetycznego, doprowadziła do uzyskania rzetelnych wyników prezentowanego opracowania. Jednakże ze względu na wymuszoną, specyfikę zadań, interoperacyjność pomiędzy gałęziami przemysłu, koniecznym staje się wypracowanie jasnych i klarownych norm i standardów. Odnosić się one powinny do jakości produktów końcowych powstających poprzez stosowanie technologii naziemnego skaningu laserowego, czyniąc ją w perspektywie czasowej jedną z najlepszych i najdokładniejszych technologii naszych czasów w sensie inwentaryzacyjnym.

7. LITERATURA

Falkowski P., 2008: *Experiences related to utilisation of laser scanning for engineering surveying tasks (verification of accuracy capabilities)*, Reports on Geodesy 2007.

Falkowski P., Parzyński Z., Uchański J., 2009: *Przygotowawcze prace projektowe modelowego opracowania standardu technicznego inwentaryzacji obiektów architektonicznych przy użyciu technologii naziemnego skaningu laserowego*.

- ISO 19109, 2005: *Geographic information – Rules for application schema*, ISO 2005.
- ISO 19115, 2003: *Geographic information – Metadata*, ISO 2003.
- PN-ISO 17123, 2009: *Normy od nr. 17123-1 do nr. 17123-5*.
- PN-ISO 7737, 1994: *Tolerancje w budownictwie – Przedstawianie danych dotyczących dokładności wymiarów*, Polski Komitet Normalizacyjny.
- PN-ISO 7976-1, 1994: *Tolerancje w budownictwie – Metody pomiaru budynków i elementów budowlanych. Metody i przyrządy*, Polski Komitet Normalizacyjny.
- Kersten Th., Mechelke K., Lindstaedt M., Sternberg H., 2008: *Geometric Accuracy Investigations of the Latest Terrestrial Laser Scanning Systems*, FIG Working Week Stockholm.
- Lichti D., 2004: *A resolution measure for terrestrial laser scanners*, Proceedings ISPRS Conference Commission V, Istanbul.
- Shan J., Toth Ch., 2008: *Topographic Laser Ranging and Scanning. Principles and Processing*.
- Uchański J., Falkowski P., Sörensen L., 2008: *Problematyka standaryzacji w dziedzinie inwentaryzacji obiektów architektonicznych technikami skaningu laserowego naziemnego*, Materiały z Sympozjum PTFiT Międzydroje.
- Uchański J., Falkowski P., 2009: *Experiences of WPG S.A. in the usage of terrestrial laser scanners for building inventory purposes*, Warszawa IX Konferencja naukowo-techniczna nt.: „Aktualne problemy w geodezji inżynierskiej”. 26-27 marca, Warszawa-Białobrzegi.
- Uchański J., Falkowski P., 2009: *Experiences of WPG S.A. in the usage of terrestrial laser scanners for building inventory purposes*, Warszawa IX Konferencja naukowo-techniczna nt.: „Aktualne problemy w geodezji inżynierskiej”. 26-27 marca, Warszawa-Białobrzegi.
- Uchański L. „Zastosowanie Naziemnego Skaningu Laserowego do tworzenia dokumentacji architektonicznej obiektów sakralnych”, praca magisterska WAT Warszawa 2009.
- Wytyczne 1981: *Wytyczne Techniczne G-3.4: Inwentaryzacja zespołów urbanistycznych, zespołów zieleni i obiektów architektury*. GUGiK, Warszawa.

TECHNOLOGY OF TERRESTRIAL LASER SCANNING IN PROBLEMS OF REVERSE ENGINEERING AND DYNAMIC PROCESS ANALYSIS

KEY WORDS: laser scanning, reverse engineering, dynamic process analysis, inventarization

SUMMARY: The authors of the article present the possibility of application of terrestrial laser scanning technology in the area of architectural objects inventarization and also in industrial measurements. The use of the newest technological solutions by the company Scan-3D in their projects in many European countries is presented in a full technological path, including inventory works, coping with precision determination, registration and modeling of architectural details, highly complicated ornaments and facades of the analyzed buildings and structures. What is more, the aspects determining the end quality of the realized documentary works will be presented, and the aspects containing information about the methods of standardization used for such works, describing accurately the technological standards on quality and precision, and formal demands on such projects realization. The methodology of works and results of dynamic process analysis made on the basis of results achieved from finished projects realized with the use of terrestrial laser scanning technology in shipyards, ship bodies and water power station turbines measurements is also presented. The experience of the company in the mentioned projects allows to precisely describe the possibilities of implementation of this measurement tool for the needs of highly precise and accurate simulations of situations that have influence on the status of the analyzed objects. The presentation of the results is

also focused on the need of coping with the technology of terrestrial laser scanning as with the tool on the way to a new possibility of its implementation in many other areas of industry. The possibility of application of this technology, especially its potential with regard to the amount, quality and accuracy of data collection are great and allows to develop methods of precise presentation of the deformation, changes and other analyzed situations that influence the surrounding 3D shapes and objects.

mgr inż. Łukasz Uchański
uchanski@scan-3d.com
Telefon +48602559740

Dipl. Ing. Lars Soerensen
soerensen@scan-3d.com
Telefon 030 4600 7916