



## **MODELOWANIE OBIEKTÓW PRZEMYSŁOWYCH NA PODSTAWIE DANYCH Z NAZIEMNEGO SKANINGU LASEROWEGO**

***Bartosz Mitka, Łukasz Mikołajczyk, Tomasz Noszczyk***

*Uniwersytet Rolniczy im. H. Kollątaja w Krakowie*

### ***MODELING OF INDUSTRIAL FACILITIES BASED ON DATA FROM TERRESTRIAL LASER SCANNING***

#### ***Streszczenie***

Nowoczesne technologie pomiarowe, takie jak skanowanie laserowe, dostarczają informacji o otaczającej nas rzeczywistości w postaci chmur punktów. Jednakże informacja o geometrii obiektów zapisana w tej postaci często jest niepraktyczna z punktu widzenia odbiorcy dokumentacji obiektu. Dlatego też zachodzi potrzeba translacji chmur punktów na modele wektorowe obsługiwane przez oprogramowanie typu CAD. Artykuł przedstawia możliwości zastosowania i wykorzystania niektórych narzędzi do modelowania 3D dostępnych w oprogramowaniu Leica Cyclone, jak również uzyskiwane dokładności wpasowania elementów geometrycznych w chmury punktów.

**Słowa kluczowe:** modelowanie 3D, skanowanie laserowe

#### ***Summary***

*Modern measurement technologies such as laser scanning provides information about the reality that surrounds us in the form of point clouds. However, the information about the geometry of the objects stored in this form is often impractical from the point of view of the recipient. Therefore, it is necessary converting point clouds to vector models supported by CAD software. This paper presents the applicability and use some 3D modeling tools available in the software Leica Cyclone, as well as the accuracy of the fitting obtained geometry in the point clouds.*

**Key words:** 3D modeling, laser scanning

## WSTĘP

Nowoczesne technologie pomiarowe takie fotogrametria cyfrowa i naziemny skaning laserowy dostarczają informacji o otaczającej nas rzeczywistości w postaci zdjęć pomiarowych i chmur punktów. Jednakże informacja o geometrii obiektów zapisana w tej postaci często jest niepraktyczna z punktu widzenia odbiorcy dokumentacji obiektu. Dlatego też zachodzi potrzeba translacji wyników pomiarów i chmur punktów na modele wektorowe obsługiwane przez oprogramowanie typu CAD. Wielu autorów [np. Junga i inni, 2008; Rabbani, Van den Heuvel, 2005] podaje przykłady wykorzystania fotogrametrii i chmur punktów do modelowania obiektów przemysłowych.

W procesie modelowania wykorzystywane są zarówno narzędzia dostępne w oprogramowaniu do przetwarzania chmur punktów [Fidera i inni, 2004], jak i narzędzia modelowania programów typu AutoCAD czy MicroStation [Rabbani, Van den Heuvel, 2005], oraz dedykowane oprogramowanie i algorytmy do modelowania 3D [Kawashima i inni, 2011].

Wektorowe modele 3D obiektów przemysłowych znajdują różnorakie zastosowania m. in.:

- jako inwentaryzacja stanu istniejącego;
- jako dane wejściowe w systemach zarządzania infrastrukturą;
- do badania kolizji między infrastrukturą planowaną a istniejącą;

Oprogramowanie Leica Cyclone dedykowane jest przede wszystkim do zarządzania i przetwarzania chmur punktów, jednakże posiada również wiele narzędzi do modelowania obiektów geometrycznych. Wymodelowane obiekty mogą być użyte zarówno w procesie orientacji chmur punktów (np. sfery, narożniki) jak i eksportowane w postaci modeli wektorowych do oprogramowania typu CAD. Leica Cyclone umożliwia zarówno wpasowywanie w chmury punktów siatek trójkątów jak i określonych obiektów geometrycznych.

Dla siatek trójkątów (mesh) dostępne są parametry i narzędzia edycyjne umożliwiające edycję pojedynczych trójkątów, wypełnianie dziur w siatkach, przeredzanie siatek (optymalizację) czy też wprowadzanie do siatki linii nieciągłości pod postacią poliginii. Opcje te umożliwiają efektywne budowanie siatek nawet dla skomplikowanych struktur przy użyciu relatywnie prostych elementów.

Do modelowania określonych form geometrycznych dostępne są następujące obiekty do wpasowania: płaszczyzna, walec, sfera, stożek, odcinek, kolanko rury, narożnik, sześciąt oraz elementy konstrukcji stalowych (kątownik, ceownik, teownik, element o przekroju prostokątnym, dwuteownik). Oprogramowanie umożliwia dwie podstawowe opcje wstawiania obiektów geometrycznych:

- poprzez automatyczne wpasowanie obiektu w wyselekcjonowany fragment chmury punktów;

– poprzez wybranie gotowego elementu z katalogu obiektów o zdefiniowanych wymiarach (w przypadkach gdy dany element nie został pomierzony lub gdy pozyskana chmura punktów nie zawiera wystarczającej informacji geometrycznej do wpasowania automatycznego obiektu);

W obu przypadkach dla każdego obiektu dostępne są uchwyty umożliwiające zmianę zarówno wymiarów elementu jak i jego położenia w przestrzeni. W przypadku obiektów wpasowywanych automatycznie przez program podawana jest również informacja o dokładności dopasowania.

Poniżej podano przykłady wykorzystania narzędzi modelowania dostępnych w oprogramowaniu Leica Cyclone.

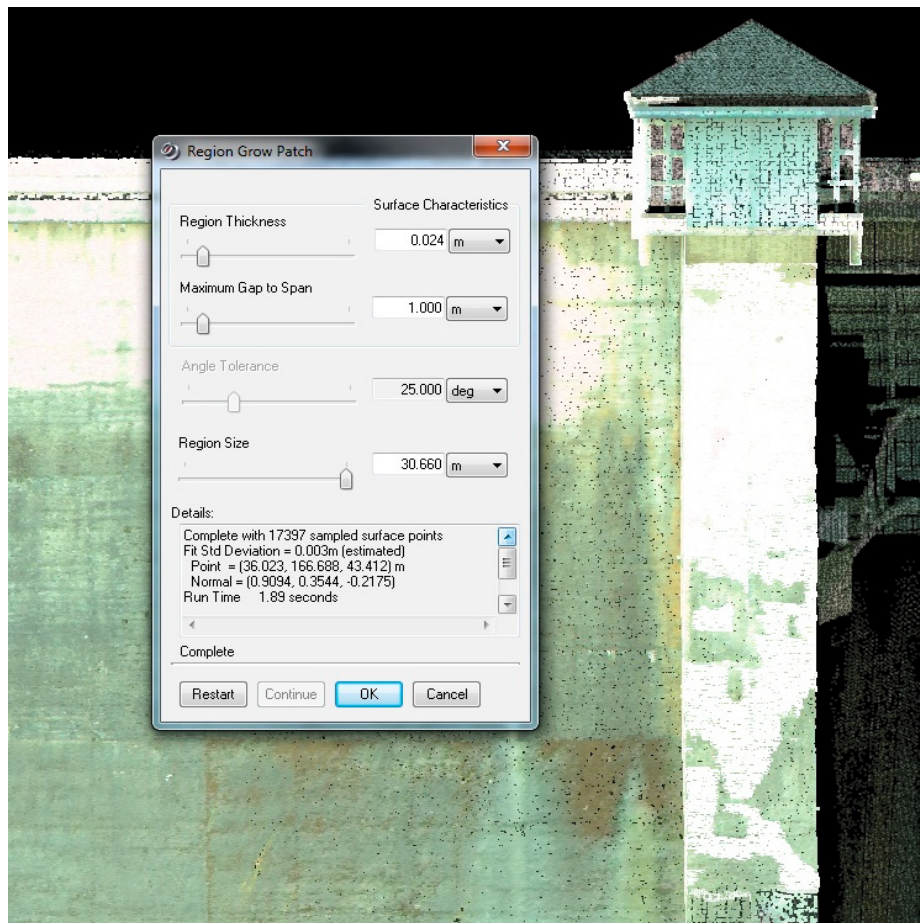
## MODELOWANIE PŁASZCZYZN

Jedną z podstawowych funkcji modelowania jest wpasowywanie obszaru płaskiego (patch). Można to zrobić w zasadzie dwiema metodami: metodą wzrostu obszaru (Region Grow Method) lub metodą wpasowania w obwiedziony obszar. Istnieje także możliwość poszerzenia przecinających się, istniejących już płaszczyzn do wzajemnych przecięć.

### **Metoda wzrostu obszaru (Region Grow Method)**

By wpasować obszar płaski przy pomocy tej metody, należy na początku użyć opcji wyboru i wskazać pojedynczy punkt na chmurze punktów, w miejscu, w którym chcemy wpasować płaszczyznę. Po wykonaniu tej czynności z menu wybieramy *Create Object -> Region Grow -> Patch*. Efektem działania tej funkcji jest pojawienie się na ekranie okna dialogowego z parametrami wpasowania jak również podświetlenie na chmurze punktów obszaru w który zostanie wpasowana płaszczyzna (rys. 1).

Dostępne opcje (*Region Thickness, Maximum Gap to Span, Angle Tolerance i Region Size*) pozwalają na optymalizację uzyskiwanego wyniku wpasowania. W oknie szczegółów (Details) można sprawdzić odchylenie standardowe dla wpasowywanej płaszczyzny (Fit Std Deviation), jeżeli uzyskany wynik jest zadowalający należy kliknąć *OK*. Gdy wyniki nie są do zaakceptowania można wybrać nowy punkt na powierzchni do modelowania i kliknąć przycisk *Restart* lub też zakończyć przyciskiem *Cancel* i powtórzyć omówioną procedurę.



**Rysunek 1.** Okno Region Grow Patch z punktami biorącymi udział w tworzeniu płaszczyzny

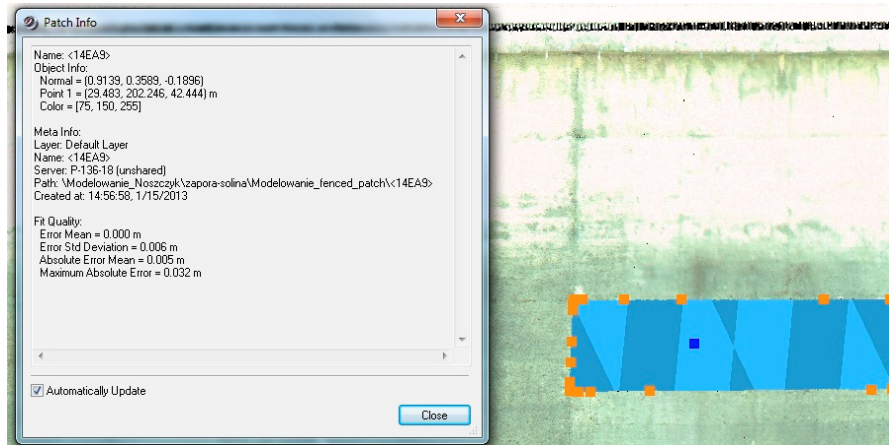
**Figure 1.** Region Grow Patch window with the points involved in the formation of the plane

Źródło: Opracowanie własne.

### **Metoda wpasowania w obwiedziony obszar**

W celu wymodelowania płaszczyzny za pomocą tej metody należy na początku użyć opcji rysowania obwiedni (prostokątnej, kołowej lub poligonowej) wokół obszaru przeznaczonego do modelowania. W tym miejscu trzeba szczególnie zwrócić uwagę na to, aby nie zaznaczyć punktów nie należących do płaszczyzny, zostaną one bowiem włączone w proces wpasowywania i obszar płaski zostanie źle wymodelowany. Po narysowaniu obwiedni należy wybrać opcję *Create Object -> Fit Fenced -> Patch*.

Po wpassowaniu płaszczyzny istnieje możliwość sprawdzenia parametrów dokładnościowych, po wybraniu opcji *Tools -> Info -> Object Info* zostanie wyświetlone okno dialogowe *Patch Info* (Rys. 2), gdzie możemy zobaczyć błąd odchylenia standardowego (Error Std Deviation), błąd bezwzględny (Absolute Error Mean) i maksymalny błąd bezwzględny (Maximum Absolute Error).

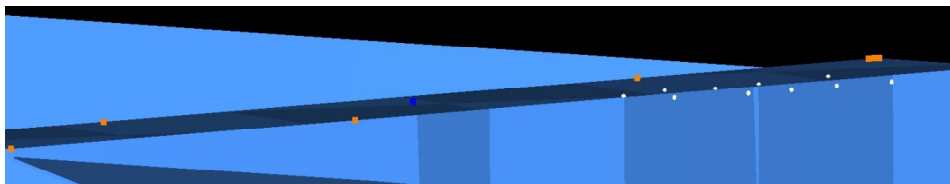


**Rysunek 2.** Okno Patch Info  
**Figure 2.** Patch Info window

Źródło: Opracowanie własne

### Poszerzenie przecinających się obszarów do wzajemnych przecięć

Po wymodelowaniu kilku płaszczyzn Cyclone posiada możliwość przedłużenia ich do wzajemnych przecięć, by stworzyć np. idealny narożnik. W tym celu w trybie wielokrotnego wyboru trzeba wskazać punkty wszystkich przecinających się obszarów płaskich. Następnie wybrać: *Edit Object -> Extend -> Extend All Objects*. Procedurę tę należy powtórzyć we wszystkich miejscach, w których mają zostać wymodelowane krawędzie i narożniki (rys. 3).



**Rysunek 3.** Efekt końcowy po rozciągnięciu płaszczyzn do wzajemnego przecięcia  
**Figure 3.** The final result of the stretched planes to mutual intersection

Źródło: Opracowanie własne.

Poniżej zestawiono parametry dokładnościowe dla 20 płaszczyzn wymodelowanych na odwodnionej stronie zapory w Solinie. Pomiar zapory wykonano skanerem impulsowym Leica ScanStation 2.

**Tabela 1.** Parametry wpasowania 20 powierzchni płaskich po stronie odwodnionej zapory w Solinie

**Tabela 1.** Parameters for fit 20 flat surfaces on the dam in Solina

|           | <b>błąd<br/>odch. standardowego<br/>[m]</b> | <b>błąd<br/>bezwzględny<br/>[m]</b> | <b>Max. błąd<br/>bezwzględny<br/>[m]</b> |
|-----------|---|-------------------------------------|--|
| <b>1</b>  | 0,008                                       | 0,006                               | 0,061                                    |
| <b>2</b>  | 0,009                                       | 0,007                               | 0,091                                    |
| <b>3</b>  | 0,005                                       | 0,004                               | 0,025                                    |
| <b>4</b>  | 0,005                                       | 0,004                               | 0,035                                    |
| <b>5</b>  | 0,006                                       | 0,004                               | 0,050                                    |
| <b>6</b>  | 0,006                                       | 0,005                               | 0,058                                    |
| <b>7</b>  | 0,013                                       | 0,011                               | 0,169                                    |
| <b>8</b>  | 0,007                                       | 0,006                               | 0,041                                    |
| <b>9</b>  | 0,006                                       | 0,005                               | 0,033                                    |
| <b>10</b> | 0,008                                       | 0,006                               | 0,043                                    |
| <b>11</b> | 0,007                                       | 0,005                               | 0,058                                    |
| <b>12</b> | 0,006                                       | 0,005                               | 0,104                                    |
| <b>13</b> | 0,005                                       | 0,004                               | 0,028                                    |
| <b>14</b> | 0,006                                       | 0,005                               | 0,032                                    |
| <b>15</b> | 0,007                                       | 0,005                               | 0,078                                    |
| <b>16</b> | 0,005                                       | 0,004                               | 0,023                                    |
| <b>17</b> | 0,007                                       | 0,005                               | 0,062                                    |
| <b>18</b> | 0,012                                       | 0,010                               | 0,048                                    |
| <b>19</b> | 0,006                                       | 0,005                               | 0,037                                    |
| <b>20</b> | 0,007                                       | 0,006                               | 0,039                                    |

Źródło: Opracowanie własne

Jak widać, odchylenie standardowe waha się w zakresie od 0,005 m do 0,013 m, przy czym błąd średni wpasowania wynosi 0,007 m. Jeśli chodzi o błąd bezwzględny to osiąga on wartości od 0,004 m do 0,011 m, a wartość średnia błędu bezwzględnego dla 20 wymodelowanych płaszczyzn wynosi 0,006m. Najgorzej wygląda statystyka maksymalnego błędu bezwzględnego, gdzie wartość średnia tego błędu wynosi 0,056 m. Spowodowane to jest tym, że zeskanowane płyty betonowe nie są faktycznie płaskie, jak również szumami występującymi w chmurze punktów – stąd też pojawiają się błędy maksymalne rzędu kilku centymetrów.

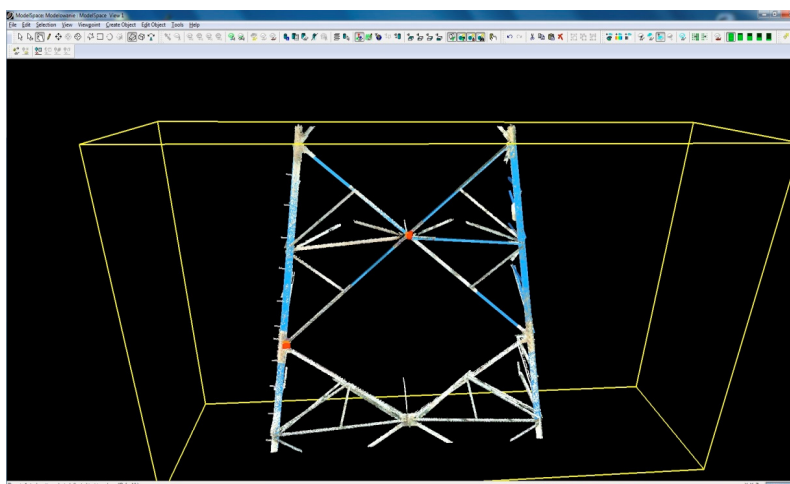
## MODELOWANIE KONSTRUKCJI STALOWYCH

Program Leica Cyclone posiada szeroką bazę zdefiniowanych elementów stalowych. Możemy wybierać spośród teowników, ceowników, kątowników czy elementów o przekroju prostokątnym. Oprogramowanie umożliwia dwie podstawowe opcje wstawiania obiektów geometrycznych:

- poprzez automatyczne wpasowanie obiektu w wyselekcjonowany fragment chmury punktów;
- poprzez wybranie gotowego elementu z katalogu obiektów o zdefiniowanych wymiarach (w przypadkach gdy dany element nie został pomierzony lub gdy pozyskana chmura punktów nie zawiera wystarczającej informacji geometrycznej do wpasowania automatycznego obiektu);

Procedura automatycznego wpasowania przebiega następująco:

1. Izolujemy część chmury punktów używając opcji „Limit Box”. Jest ona szczególnie przydatna przy rozbudowanych projektach. Możemy wtedy dokładnie obejrzeć wyznaczony fragment bez obawy zaznaczenia elementów sąsiednich.



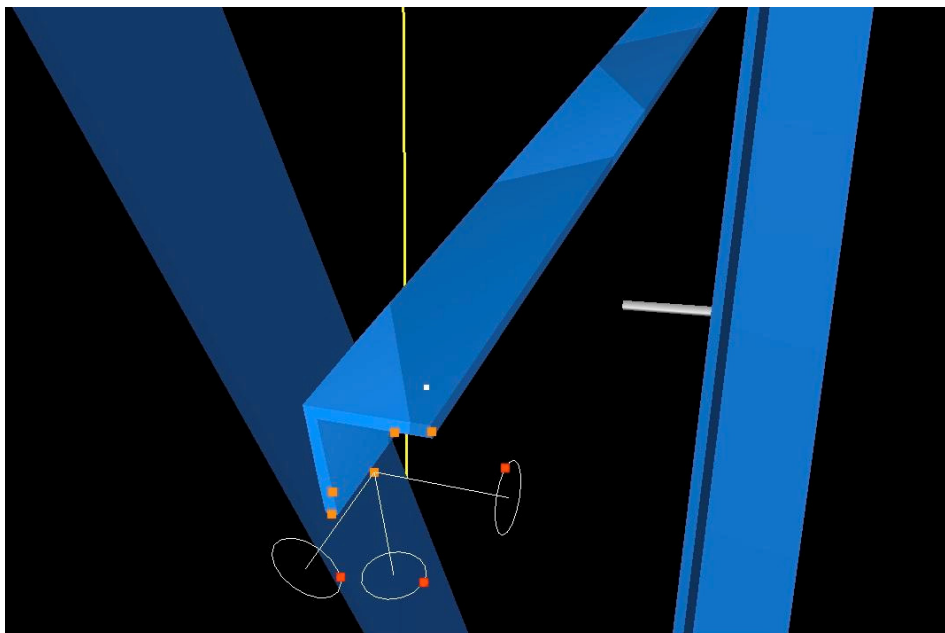
**Rysunek 4.** Wyseparowana część chmury punktów

**Figure 4.** Separated part of point cloud

Źródło: Opracowanie własne.

2. Zaznaczamy część pojedynczego elementu i wybieramy kolejno opcje *Create Object* -> *Fit to Cloud* -> *Steel Section* -> *Angle* tak jak jest to zaprezentowane na poniższym rysunku (Rys. 5).

3. Za pomocą uchwytów można przeprowadzić korektę wpasowania elementu zarówno w zakresie wymiarów liniowych (uchwyty modyfikacji wymiarów) jak również orientacji w przestrzeni (uchwyty rotacji).



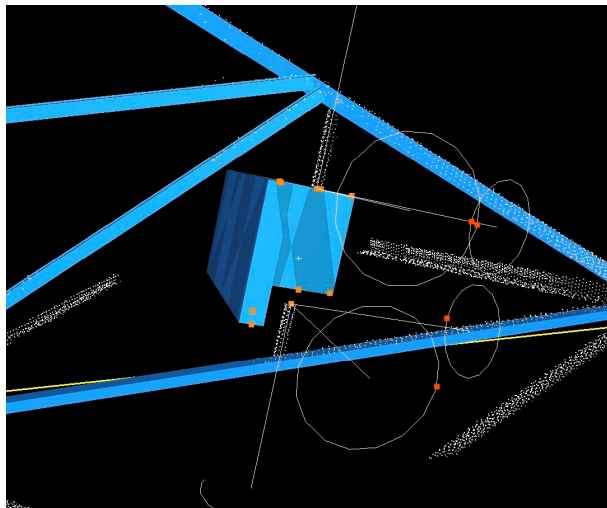
**Rysunek 5.** Uchwyty rotacji do modyfikacji orientacji elementu w przestrzeni  
**Figure 5.** Rotate handles for element modifications in space

Źródło: Opracowanie własne.

Głównym mankamentem tej technologii budowania modeli jest to, że w programie nie ma możliwości zaginania elementów. Efektem tego jest sytuacja – dla obiektów które uległy deformacji – w której na końcach elementu jest on dobrze dopasowany do chmury, a w środkowej części lekko od niej odbiega. Innym problemem jest wpasowywanie elementu w przypadku kiedy obiekt nie został zeskanowany dokładnie. W tej sytuacji program nie wpasuje elementu pokazując informację o niewystarczającej informacji lub wpasuje go nieprawidłowo tak jak to jest widoczne na poniższym rysunku (rys. 6).

W przykładzie przedstawionym w rysunku 7 wymodelowano fragment przelotowego słupa wysokiego napięcia typu Z52. Chmury punktów pochodzą z trzech stanowisk skanowania, a pomiar wykonano skanerem impulsowym Leica ScanStation.

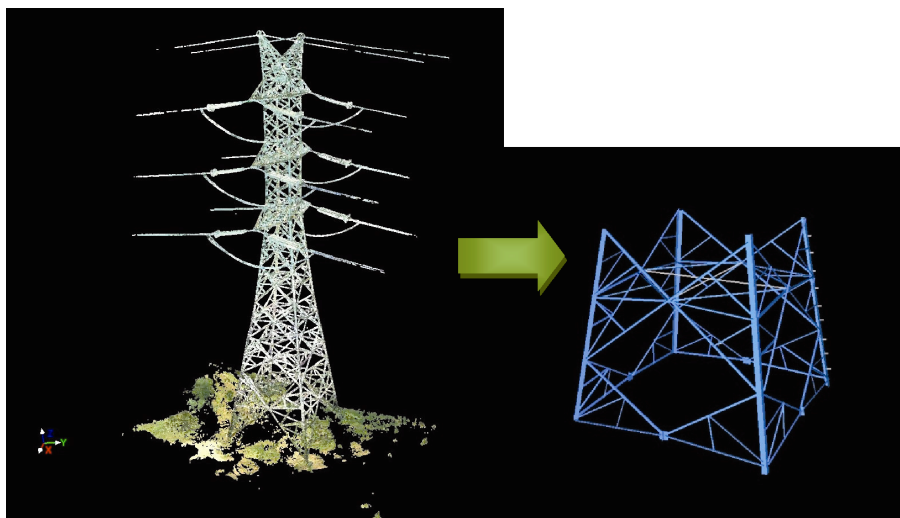




**Rysunek 6.** Błędne dopasowanie obiektu ze względu na zbyt małą ilość informacji w chmurze punktów

**Figure 6.** Incorrect fitting object of the reason for not enough information in the point cloud

Źródło: Opracowanie własne.



**Rysunek 7.** Chmura punktów dla słupa energetycznego i jego model wektorowy  
**Figure 7.** Point cloud and the vector model for power pole

Źródło: Opracowanie własne.

W celu scharakteryzowania dokładności automatycznego wpasowania elementów w chmurę punktów zestawiono poniżej charakterystyki dokładnościowe dla piętnastu wybranych elementów:

**Tabela 2.** Parametry wpasowania 15 elementów stalowych dla słupa energetycznego  
**Tabela 2.** Parameters for fit 15 pieces of steel for the power pole

|    | Fit Quality<br>[mm] |                     |                     |
|----|---------------------|---------------------|---------------------|
|    | Error Std Deviation | Absolute Error Mean | Max. Absolute Error |
| 1  | 4                   | 3                   | 18                  |
| 2  | 4                   | 3                   | 9                   |
| 3  | 6                   | 4                   | 21                  |
| 4  | 4                   | 3                   | 16                  |
| 5  | 3                   | 2                   | 6                   |
| 6  | 3                   | 2                   | 16                  |
| 7  | 2                   | 2                   | 12                  |
| 8  | 3                   | 2                   | 28                  |
| 9  | 2                   | 1                   | 14                  |
| 10 | 11                  | 8                   | 35                  |
| 11 | 2                   | 1                   | 5                   |
| 12 | 5                   | 3                   | 19                  |
| 13 | 3                   | 2                   | 28                  |
| 14 | 2                   | 2                   | 8                   |
| 15 | 2                   | 4                   | 9                   |

Źródło: Opracowanie własne.

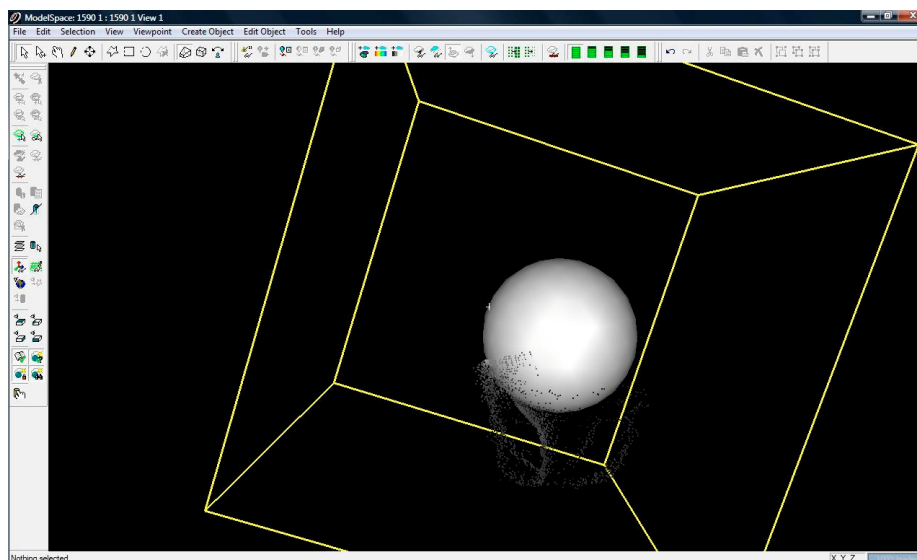
Jak można zauważyć zarówno wartości odchylenia standardowego jak i błędu bezwzględnego mieszczą się w granicach kilku milimetrów. Średnia wartość odchylenia standardowego wynosi 3.7 mm, a błędu absolutnego 2.8 mm. Do ostatniej kolumny, w której zestawiono maksymalne wartości błędów absolutnych, należy podejść z pewnym dystansem, gdyż zależy ona głównie od szumów i błędnych punktów na krawędziach elementów (tzw. „mixed piksel”).

## MODELOWANIE SFER

Sfera jest zdefiniowana w przestrzeni przez cztery parametry: współrzędne X,Y,Z oraz promień. Algorytm programu dobiera taką kombinację wspomnianych wcześniej parametrów, aby jak najdokładniej wpasować obiekt w wydzielony fragment chmury punktów. Sam proces wpasowania wygląda następująco:

1. Zaznaczamy sferę lub jej fragment.
2. Wybieramy opcje *Create object -> Fit to Cloud -> Sphere*

Na pokazanym przykładzie widać, że nawet korzystając z wycinka zeskanowanej sfery algorytm może dokładnie wpasować żadaną figurę.



**Rysunek 8.** Wpasowanie sfery w chmurę punktów  
**Figure 8.** Fitting sphere in a point cloud

Źródło: Opracowanie własne.

Aby przeanalizować dokładność wpasowania należy zaznaczyć dany element a później kliknąć na nim prawym przyciskiem myszy i wybrać opcję „Object Info”.

### WPASOWYWANIE RUR

Kiedy mówimy o konstrukcjach przemysłowych nie sposób nie wspomnieć o rurach, które są wykorzystywane w ogromnych ilościach w przemyśle olejowo – gazowym czy chemicznym. Procedura modelowania dla nich wygląda następująco:

1. Izolujemy żądany fragment rurociągu za pomocą opcji „Limit Box”
2. Zaznaczamy fragment rurociągu poligonem
3. Wybieramy opcję *Fit to Cloud -> Cylinder*

Element zostanie wpasowany, możemy jednak dowolnie modelować jego położenie i właściwości używając np. standardowych rozmiarów rur w zakładce *Edit Properties*.

Program umożliwia modelowanie również wszystkich elementów powiązanych z rurociągami takich jak: kolanka, reduktory, kołnierze, zaślepki, zawory.

## WNIOSKI

Nowoczesne oprogramowanie dostarcza coraz wydajniejszych narzędzi do modelowania obiektów geometrycznych. Dostępne opcje automatycznego wpasowywania obiektów czy też katalogi gotowych elementów znacznie przyspieszają i upraszczają proces modelowania. Opcje modyfikacji wstawionych elementów pozwalają na precyzyjne wpasowanie reprezentacji geometrycznej obiektu w pozyskaną chmurę punktów. Dzięki narzędziom informującym o dokładnościach dopasowania elementów wektorowych do chmury punktów możemy kontrolować jakość wykonywanego modelowania. Uzyskiwane dokładności wpasowania na poziomie kilku milimetrów pozwalają przyjąć założenie, że metodą tą można uzyskiwać trójwymiarowe inwentaryzacje obiektów przemysłowych.

Należy jednak zauważyć, że warunkiem koniecznym sprawnego prowadzenia prac związanych z modelowaniem jak również uzyskiwania wysokich dokładności wpasowania jest posiadanie możliwie kompletnej i dobrej jakościowo chmury punktów, gdzie pod pojęciem jej jakości rozumiemy odpowiednio dobraną gęstość pozyskiwanej chmury punktów, precyzyjnie wykonaną orientację, redukcję i filtrację szumów oraz błędnie zarejestrowanych punktów.

## LITERATURA

- Fidera A., Chapman M.A., Hong J., *Terrestrial Lidar for Industrial Metrology Applications: Modelling, Enhancement and Reconstruction*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXV, B5, 880-883, ISSN 1682-1750, 2004.
- Junga S. H., Yua J. H., Leeb J. K., Gea L., *Automatic modelling method for steel structures using photogrammetry*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B5. Beijing 2008
- Kawashima K., Kanai S., Date H., *Automatic recognition of a piping system from large-scale terrestrial laser scan data*, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume, 29-31 August 2011, Calgary, Canada
- Rabbani, T., Van den Heuvel, F., *3D Industrial Reconstruction by Fitting Csg Models to a combination of Images and Point Clouds.*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXV, B5, 7-12, ISSN 1682-1750, 2011.

Dr inż. Bartosz Mitka  
e-mail: bartosz.mitka@ur.krakow.pl  
tel. +48 12 662 45 04

Inż. Łukasz Mikołajczyk  
Inż. Tomasz Noszczyk

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji  
Katedra Geodezji Rolnej, Katastru i Fotogrametrii  
ul. Balicka 253, 30-149 Kraków