

Marek WYLEŻOŁ<sup>1</sup>

## ANALIZA DOPASOWANIA POLIPOWIERZCHNI SKLEJANYCH DO POWIERZCHNI SIATKOWYCH

**Streszczenie.** Artykuł dotyczy przykładu realizacji procesu ilościowej oceny dopasowania polipowierzchni sklejaných (klasy NURBS) do powierzchni siatkowych. Proces dopasowania polipowierzchni, a także ocena uzyskanych wyników zostały zrealizowane w środowisku systemu CATIA v5. Uzyskane oceny ilościowe przedstawiono graficznie w postaci trójwymiarowych wykresów oraz histogramów. Jako bazową powierzchnię siatkową wykorzystano model *stl* kości miedniczej (model ten powstał przez digitalizację dydaktycznego modelu fizycznego).

**Słowa kluczowe:** polipowierzchnia, NURBS, model siatkowy, analiza dopasowania, CATIA v5

## ANALYSIS OF COMBINED POLYSURFACES TO MESH SURFACES MATCHING

**Summary.** This article applies to an example of the process of quantitatively evaluate the fit of combined polysurface (NURBS class) to a surface mesh. The fitting process of the polysurface and the evaluation of obtained results have been realized in the environment of the CATIA v5 system. Obtained quantitative evaluation are shown graphically in the form of three-dimensional graphs and histograms. As the base surface mesh was used a pelvic bone *stl* model (the model was created by digitizing didactic physical model).

**Keywords:** polysurface, NURBS, mesh models, matching analysis, CATIA v5

### 1. WPROWADZENIE

Głównym rezultatem procesu digitalizacji powierzchni obiektów fizycznych jest trójwymiarowa chmura punktów. Chmura punktów jest dyskretną reprezentacją postaci powierzchni obiektu, stanowi więc jego dyskretny model. Jednakże taki rodzaj reprezentacji powierzchni obiektu jest nośnikiem jedynie ilościowych i zdyskretyzowanych informacji o jego powierzchni. Jest tak, gdyż każdy punkt chmury jest opisany ilościowymi wartościami współrzędnych  $(x,y,z)$  wyznaczających jego położenie względem obranego początku układu współrzędnych oraz – w wybranych przypadkach – wartościami barwy przynależnego do rozpatrywanego punktu chmury piksela w standardzie (R,G,B).

---

<sup>1</sup> Institute of Fundamentals of Machinery Design, Silesian University of Technology, Gliwice, Poland, e-mail: marek.wylezol@polsl.pl

Taka dyskretna reprezentacja modelu nie jest jednak bezpośrednio użyteczna w systemach grafiki inżynierskiej, zwłaszcza w inżynierskich systemach klasy CAX. Modele takie mogą jednak stanowić podstawę do dalszych transformacji [2], których rezultatem będzie reprezentacja modelu mająca zastosowanie we wspomnianych systemach komputerowych.

## 2. TRANSFORMACJE CHMURY PUNKTÓW

Jak już wspomniano, model obiektu reprezentowany przez chmurę punktów może być podstawą uzyskania reprezentacji użytecznej dla systemów klasy CAX. Warunkiem uzyskania takiej użyteczności jest poddanie go stosownym transformacjom.

Podstawową transformacją dyskretnych chmur punktów jest triangulacja. Jej wynikiem jest model powierzchniowy, którego powierzchnia jest reprezentowana za pomocą siatki trójkątów, których wierzchołki są tożsame z punktami chmury (w wyniku czynności edycyjnych porządek ten może ulec zmianie). Taki rodzaj reprezentacji modelu jest użyteczny dla systemów grafiki trójwymiarowej, dla systemów sterujących działaniem obrabiarek klasy CNC oraz w wytwarzaniu przyrostowym [2]. Wspomniana forma reprezentacji modelu nadal jednak nie jest w pełni użyteczna dla systemów klasy CAX, dlatego też model siatkowy podlega dalszym transformacjom, m.in. w dopasowaną do niego sklejaną polipowierzchnię klasy NURBS.

Celem artykułu jest pokazanie przykładu realizacji analizy jakości takiego dopasowania z użyciem modelu siatkowego zawierającego obszary powierzchni o małych i dużych wartościach krzywizn, a także przedstawienie wniosków i uwag wynikających ze zrealizowanych działań.

## 3. MODEL SIATKOWY

Jako model bazowy, reprezentowany w postaci siatki trójkątów, posłużył autorowi model kości miedniczej. Powstał on przez digitalizację powierzchni obiektu fizycznego w postaci modelu edukacyjnego kości miedniczej. Digitalizacja została wykonana z użyciem skanera optoelektronicznego. Korekcję powierzchni modelu wykonano z użyciem narzędzi programowych modułu *Digitized Shape Editor* systemu *CATIA v5*. Uzyskany model siatkowy składa się z 219 256 trójkątów (rys. 1) tworzących powierzchnię siatkową.



Rys. 1. Model siatkowy kości miedniczej

Fig. 1. Pelvic bone mesh model

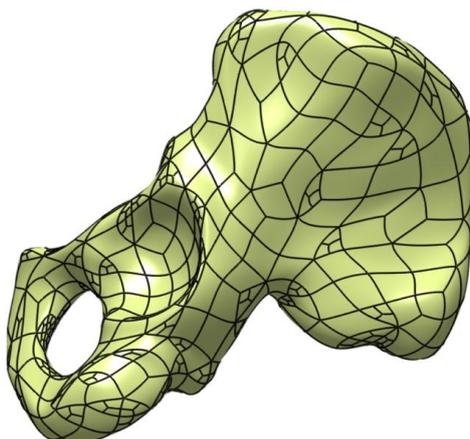
#### 4. GENEROWANIE DOPASOWANEJ POLIPOWIERZCHNI

Transformacja wspomnianego modelu siatkowego w reprezentację polipowierzchni sklejaney klasy NURBS (rys. 2) została wykonana z użyciem dedykowanego oprogramowania. Użyto w tym celu narzędzia *Automatic surface* modułu *Quick Surface Reconstruction* systemu *CATIA v5* [1]. Mimo automatyzacji procesu generowania sklejanych płatów polipowierzchni osiągnięta dokładność dopasowania uzyskanej polipowierzchni do powierzchni siatkowej zależy od wartości wprowadzonych parametrów wejściowych.

Parametrami wejściowymi generowania polipowierzchni są m.in.:

- wstępna średnia wartość odchylenia tworzonej polipowierzchni od powierzchni triangularnej (wyznaczana dla każdego wierzchołka siatki),
- wstępna maksymalna liczba sklejanych płatów polipowierzchni.

W celu zbadania wpływu wartości wymienionych parametrów na jakość generowania polipowierzchni wygenerowano łącznie 20 polipowierzchni dopasowanych do tej samej powierzchni siatkowej. Podczas ich generowania zmieniano wartości maksymalnej liczby sklejanych płatów polipowierzchni w zakresie od 200 do 1000 z krokiem 200. Natomiast arbitralnie (opierając się na doświadczeniu autora) przyjęto cztery wartości średniego błędu odchylenia polipowierzchni od powierzchni triangularnej: 0,01 mm, 0,05 mm, 0,1 mm oraz 0,5 mm.



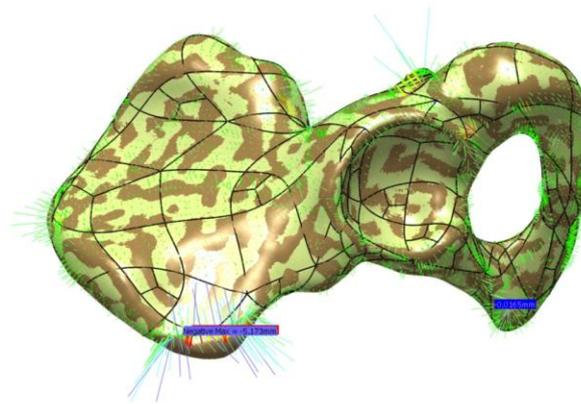
Rys. 2. Model powierzchniowy kości miedniczej (widoczne granice połączonych płatów)

Fig. 2. Surface model of pelvic bone (borders of combined patches visible)

#### 5. ANALIZA UZYSKANYCH REZULTATÓW

Rezultatem zrealizowanych działań są modele powierzchniowe o różnym stopniu dopasowania do bazowego modelu siatkowego. Na rys. 3 widoczne są (przenikające się wzajemnie) modele: siatkowy oraz – dopasowany do niego – model powierzchniowy. Ocena wizualna stopnia dopasowania modelu powierzchniowego w tym przypadku jest nieefektywna. Przy wspomaganie się jednak możliwościami systemu komputerowego możliwa jest wizualizacja (za pomocą wektorów normalnych do powierzchni) miejscowych wartości oraz kierunków odchylenia polipowierzchni w stosunku do bazowej siatki trójkątów. Większa długość danego wektora symbolizuje większy stopień niedopasowania.

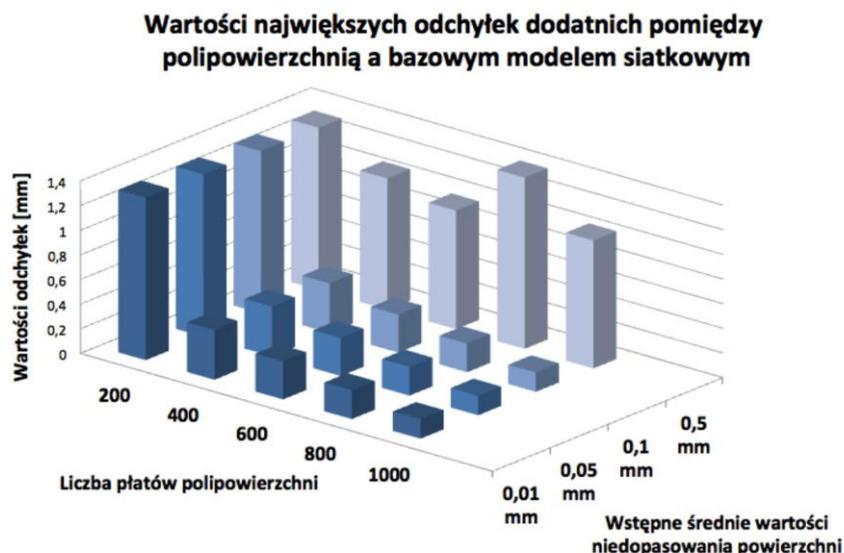
Ocena taka ma głównie charakter jakościowy i nie daje pełni informacji o jakości dopasowania wygenerowanej polipowierzchni. Przejdźmy zatem do analizy uzyskanych ocen ilościowych.



Rys. 3. Model siatkowy oraz powierzchniowy wraz z widocznymi miejscami największych odchyłek  
Fig. 3. Mesh and polysurface models with visible of the maximum deviations places

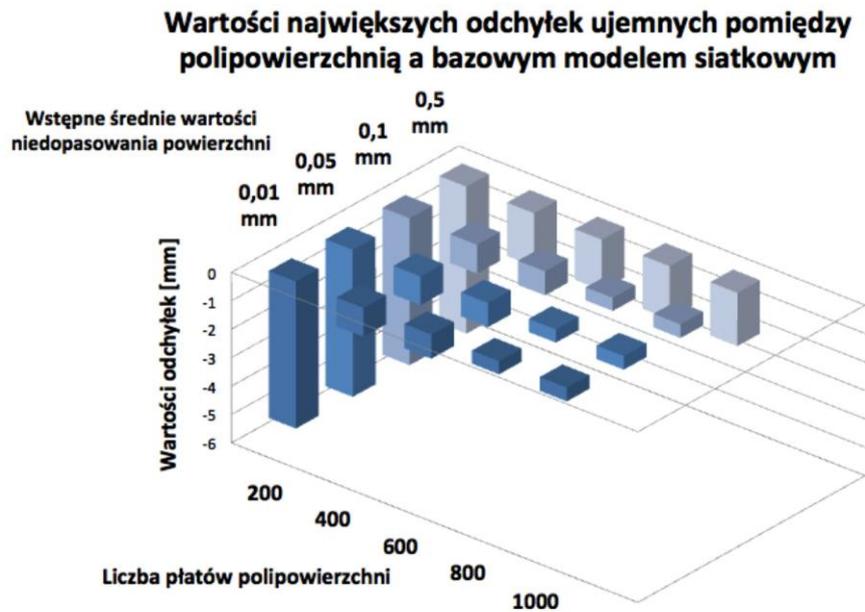
Uzyskane wartości największych dodatnich i ujemnych odchyłeń polipowierzchni względem bazowej siatki trójkątów zostały zaprezentowane na zbiorczych wykresach (rys. 4 oraz rys. 5). Z analizy otrzymanych rezultatów wynikają następujące obserwacje:

- przyjmowanie dużych wartości średniego błędu odchylenia polipowierzchni, niezależnie od liczby wygenerowanych płatów składowych, zawsze powoduje względnie duże wartości jej odchylenia od siatkowej powierzchni bazowej,
- przyjmowanie wartości średniego błędu odchylenia polipowierzchni z przedziału 0,01 – 0,1 mm przy rosnącej liczbie generowanych płatów składowych skutkuje poprawą jakości dopasowania polipowierzchni do bazowej powierzchni siatkowej,
- przyjmowanie małej liczby płatów polipowierzchni (200) niezależnie od wartości średniego błędu odchylenia polipowierzchni nie powoduje zmian w jakości dopasowania, a jego poziom jest mały,
- przyjmowanie małych wartości średniego błędu odchylenia polipowierzchni (z zakresu 0,01 – 0,1 mm) przy jednakowej i dużej liczbie płatów składowych polipowierzchni (1000) nie powoduje znaczącego wzrostu dopasowania docelowej polipowierzchni do siatkowej powierzchni bazowej.



Rys. 4. Zbiorczy wykres maksymalnych dodatnich wartości odchyłek polipowierzchni względem bazowej siatki trójkątów

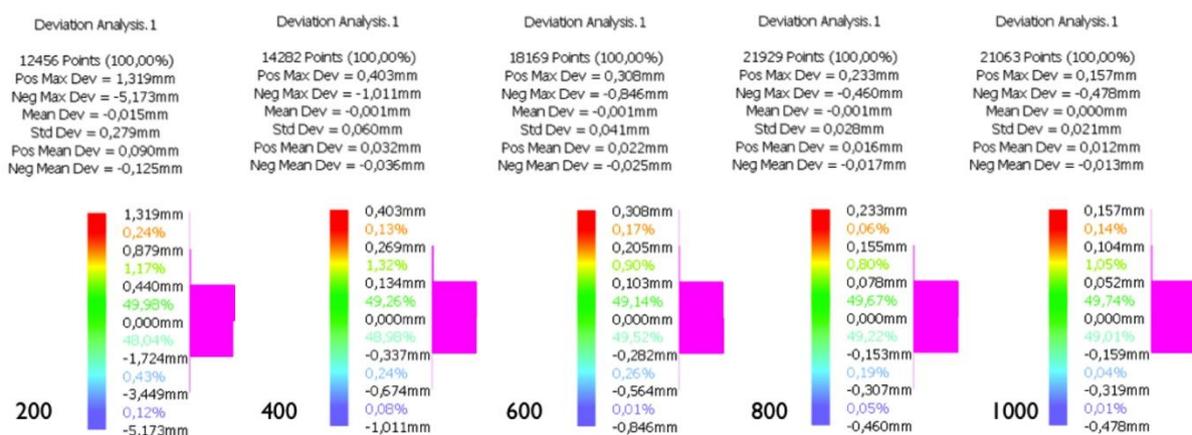
Fig. 4. Summary chart of maximum positive deviations of polysurface against the base triangle mesh



Rys. 5. Zbiorczy wykres maksymalnych ujemnych wartości odchyłek polipowierzchni względem bazowej siatki trójkątów

Fig. 5. Summary chart of maximum negative deviations of polysurface against the base triangle mesh

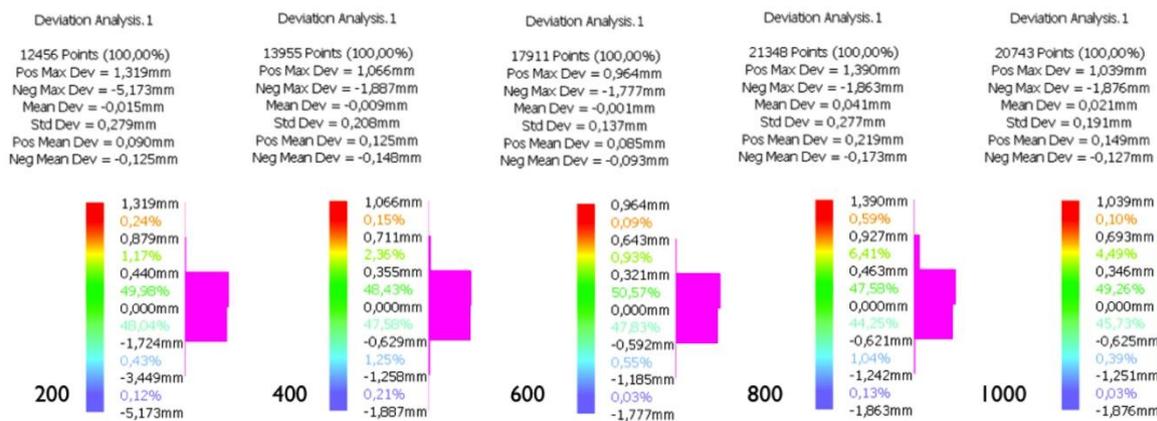
Analiza zależności stopnia dopasowania polipowierzchni do bazowej siatki trójkątów od wartości parametrów jej generowania objęła również wykonanie serii histogramów odchyłek wartości krzywizn polipowierzchni od bazowej powierzchni siatkowej; podano również ważniejsze statystyki charakteryzujące stopień dopasowania poszczególnych polipowierzchni. Wykonano cztery serie histogramów po 5 polipowierzchni dla zadanych średnich wartości odchylenia: 0,01 mm, 0,05 mm, 0,1 mm oraz 0,5 mm. Na rys. 6 zaprezentowano histogramy oraz statystyki dla skrajnie małych wartości wstępnego niedopasowania (0,01 mm) oraz liczby wygenerowanych płatów polipowierzchni z przedziału 200-1000.



Rys. 6. Histogramy odchyłek polipowierzchni względem bazowej siatki trójkątów dla zadanej średniej wartości odchylenia (0,01 mm)

Fig. 6. Histograms of average deviation between the polysurface that will be created and the input mesh (0.01 mm)

Na rys. 7 przedstawiono natomiast histogramy oraz statystyki dla skrajnie dużych wartości wstępnego niedopasowania (0,5 mm) oraz liczby wygenerowanych płatów polipowierzchni z przedziału 200-1000.



Rys. 7. Histogramy odchyłeń polipowierzchni względem bazowej siatki trójkątów dla zadanej średniej wartości odchylenia (0,5 mm)

Fig. 7. Histograms of average deviation between the polysurface that will be created and the input mesh (0.01 mm)

Analizując wyniki z wybranych histogramów oraz statystyk, można dokonać następujących obserwacji:

- dla zadanej średniej wartości odchylenia polipowierzchni od siatki bazowej wynoszącej 0,01 mm uzyskano wartości średnich odchyłeń polipowierzchni od bazowej siatki trójkątów na bardzo niskim poziomie (wartości oscylują wokół zera), co świadczy o ogólnie bardzo dobrym średnim dopasowaniu polipowierzchni,
- dla zadanej średniej wartości odchylenia polipowierzchni od siatki bazowej wynoszącej 0,01 mm odchyłki około 98-99% uzyskanej polipowierzchni mieszczą się w stosunkowo wąskim paśmie wokół wartości zerowej, co świadczy o bardzo dobrym ogólnym dopasowaniu uzyskanej polipowierzchni,
- dla zadanej średniej wartości odchylenia polipowierzchni od siatki bazowej wynoszącej 0,01 mm liczba wygenerowanych płatów polipowierzchni nie wpływa znacząco na polepszenie stopnia dopasowania uzyskanej polipowierzchni do siatki bazowej,
- dla zadanej średniej wartości odchylenia polipowierzchni od siatki bazowej wynoszącej 0,5 mm uzyskane wartości parametrów i statystyk dopasowania otrzymanej polipowierzchni do siatki bazowej ulegają zauważalnemu pogorszeniu niezależnie od liczby wygenerowanych płatów polipowierzchni,
- udział procentowy płatów powierzchni o znaczącym niedopasowaniu do siatki bazowej jest w każdym przypadku mały lub wręcz znikomy; świadczy to o wyłącznie lokalnych problemach z dopasowaniem polipowierzchni.

## 6. WNIOSKI

Uogólniając powyższe wnioski, można stwierdzić, co następuje:

- podczas poszukiwania najlepszych wartości parametrów generowania polipowierzchni dopasowanej do bazowej powierzchni trójkątów nie należy

stosować zbyt dużych średnich wstępnych wartości odchylenia polipowierzchni; może to powodować zbyt uogólnienie polipowierzchni w miejscach dużych zmian wartości krzywizny modelu siatkowego,

- w przypadku modeli siatkowych o dużych wartościach krzywizn powierzchni nie należy generować zbyt małej liczby płatów polipowierzchni, gdyż wtedy – niezależnie od przyjętych średnich wstępnych wartości odchylenia polipowierzchni – jakość dopasowania będzie niewystarczająca,
- zastosowane narzędzie programowe *Automatic surface* bardzo dobrze nadaje się do generowania polipowierzchni w przypadku modeli siatkowych pozbawionych wyraźnych krawędzi oraz dużych zmian wartości krzywizny powierzchni,
- w przypadku gdy wygenerowana polipowierzchnia nie oddaje odpowiednio dokładnie postaci powierzchni o dużych wartościach krzywizn oraz mających duże zmiany wartości krzywizn, można dokonać zmian postaciowych modelu siatkowego (należy wtedy miejscowo wygładzić powierzchnię modelu), o ile nie wpłynie to znacząco na wierność transformacji.

## **Bibliografia**

1. CATIA v5. Service Documentation. Dassault Systèmes 2010.
2. Wyleżoł M.: *Metodyka modelowania na potrzeby inżynierii rekonstrukcyjnej*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2013.