

## Wydruk 3D jako narzędzie do planowania zabiegów ortopedycznych

Małgorzata Cykowska-Błasiak<sup>1</sup>, Paweł Ozga<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Katedra Technologii Laserowych, Automatykacji i Organizacji Produkcji, Wydział Mechaniczny, Politechnika Wroclawska, e-mail: malgorzata.cykowska@pwr.wroc.pl

<sup>2</sup> Wydział Architektury Wnętrz oraz Dział Obsługi Informatycznej Akademii Sztuk Pięknych im. Jana Matejki w Krakowie, e-mail: pozga@asp.krakow.pl

**Streszczenie:** Celem przeglądu literatury jest wyznaczenie zakresu zastosowań wydruków 3D uzyskiwanych w technologii druku przyrostowego CJP oraz 3DP w obrębie nauk przyrodniczych, ze szczególnym naciskiem na wykorzystanie ich do planowania zabiegów ortopedycznych o wysokim stopniu komplikacji. Badania nad stosowaną metodą będą związane w ścisłej korelacji z aspektem finansowym. Badacze przyjmują za aksjomat fakt, iż głównym nabywcą będzie jednostka poddana leczeniu (pacjent), odbiorcą natomiast podmiot lub osoba udzielająca jej pomocy (lekarz).

Przy wykorzystaniu dostępnych otwarto-źródłowych rozwiązań programowych oraz odpowiedniej metodzie obróbki wyników badań CT, bazującej na algorytmie filtrów dla plików RAW, udało się uzyskać pierwsze relatywnie satysfakcjonujące efekty. Pozwalają one na prawie całkowite wykluczenie ludzkiej pracy z jednego z najtrudniejszych i najbardziej czasochłonnych procesów. Koszt całkowity (brutto) komercyjnego wydruku 3D, z uwzględnieniem wszystkich procesów produkcyjnych oraz poprodukcyjnych, jest średnio do 50% niższy od stawek komercyjnych dla modelu (*os coxae*) miednicy wraz z „*os femoris*” kością udową nieprzekraczającą długości 20 cm. Jest to efekt „względnie pozytywny”.

Mimo niewątpliwego sukcesu w zakresie kosztów druku 3D, będzie się dążyć do zmniejszenia kosztu wydruku o kolejne 30% (liczone od kwoty bazowej) poprzez wprowadzanie maszynowej obróbki oraz automatyzacji zadań oraz stosowanie innych metod druku. Zastosowanie wydruków 3D przy szeroko pojętym planowaniu zabiegów ortopedycznych, pozwala na znaczące zmniejszenie użycia instrumentarium oraz czasu zabiegu, w odniesieniu do przeprowadzonych podobnych działań, nieuwzględniających w swoim zakresie wydruku 3D.

**Słowa kluczowe:** technologie przyrostowe, druk 3D, implant, planowanie operacji, technologia addytywna.

### 1. Wprowadzenie

Początek druku 3D (produkcja pierwszej nie prototypowej maszyny) datuje się na rok 1983. Wynalazcą jest Charles Hull, który opatentował stereolitografię – technologię charakteryzującą się utwardzaniem nakładanych na siebie kolejno warstw żywicy przy wykorzystaniu światła ultrafioletowego. Według Windera [20] obecne zastosowanie drukowania trójwymiarowego nie ogranicza się tylko do stosowania metody stereolitograficznej i jest coraz bardziej powszechne. Począwszy od wykonywania prototypów części urządzeń, po części wykorzystywane w użyciu codziennym, zabawki, gadżety, itp. Ponadto technologie przyrostowe, które wykorzystują druk 3D są coraz popularniej wykorzystywane w chirurgii, przy wytwarzaniu implantów i protez [10].

Drukowanie przyrostowe polega na nakładaniu warstwy materiału o odpowiedniej grubości na platformie procesowej [20]. Warstwa odpowiada przekrojowi budowanego modelu. Następnie na wybudowanej warstwie nakładana jest kolejna i następna. Zatem model jest wytwarzany warstwa po warstwie, aż do wybudowania całego obiektu [9, 13]. Grubość warstw, z których jest budowany obiekt, wpływa na jego dokładność w odwzorowywaniu modelu, który został zaprojektowany w programie komputerowym typu CAD (Computer Aid Design) [19].

Chcąc wydrukować obiekt 3D można skorzystać z szerokiej gamy materiałów, które umożliwią wytworzenie skomplikowanego modelu zaprojektowanego w programie komputerowym. Do materiałów tych należą plastik, ceramika oraz metale. Pula dostępnych materiałów cały czas ulega zwiększeniu. W zależności od zastosowania wydrukowanego obiektu wykorzystuje się inny materiał. Plastik jak i ceramikę można wykorzystać do wybudowania prototypu implantu lub modelu kości w celu pokazania lekarzowi np. zwyrodnienia stawu, albo rozległego ubytku kostnego [10]. Z proszku metalu możliwe jest wytwarzanie gotowych implantów lub protez, które po niewielkiej obróbce mechanicznej, mogą być umieszczone w organizmie człowieka. Zakres zastosowania technologii przyrostowych jest nie tyle zależny od dostępnych materiałów, ale od wymagań, potrzeb oraz umiejętności jej wykorzystania przez środowisko medyczne.

Druki trójwymiarowe kości, albo części anatomicznych człowieka, są możliwe dzięki danym pozyskanym w wyniku tomografii komputerowej (CT – Computer Tomography) lub rezonansu elektromagnetycznego (MRI – Magnetic Resonance Imaging) [3]. Na podstawie zdjęć wykonanych podczas badań CT lub MRI, uzyskuje się model 3D organizmu pacjenta [4, 16]. Każdą kość lub organ można zapisać w odpowiednim formacie pliku i następnie przesłać do drukarki i wydrukować [3].

Wydruki kości są wykonywane w celu pokazania szczegółów, których nawet najlepszym specjalistom trudno jest zauważyć na zdjęciach rentgenowskich [9, 15, 18]. W ten sposób lekarze mogą lepiej przygotować się i zaplanować operacje z uwzględnieniem wszystkich szczegółów [1, 14]. Skracany jest czas operacji pacjenta, stosowanych instrumentów, jak i ryzyko przeprowadzanego zabiegu, gdyż lekarz zaznajamia się z ubytkiem, dysplazją lub innymi dysfunkcjami mechanicznymi kości przed zabiegiem. Jednocześnie zmniejszane jest ryzyko powikłań pooperacyjnych, gdyż na wydruku widoczne są nawet odłamki kości, które przemieściły się w inne miejsce.

W przypadku wystąpienia ubytku w kości podlegającej rekonstrukcji, możliwe jest zaprojektowanie indywidualnego implantu, dokładnie dopasowanego do pacjenta [13, 16]. Jest to możliwe zarówno z wykorzystaniem techniki komputerowej (CAD), w której zostanie zaprojektowany implant, jak również na podstawie już wydrukowanej kości odzwierciedlającej ubytek [10]. Przyspiesza się w ten sposób zabiegi operacyjne oraz zmniejsza się ich koszty.

Technologie przyrostowe mogą być wykorzystywane również przy rekonstrukcji oraz wydruku kości odwzorowujących anatomię pacjenta. Wykorzystane mogą być w przypadku, gdy jest potrzeba usunięcia zwyrodnień dysplastycznych, przeszczepu czaszki, rekonstrukcji twarzoczaszki itp.

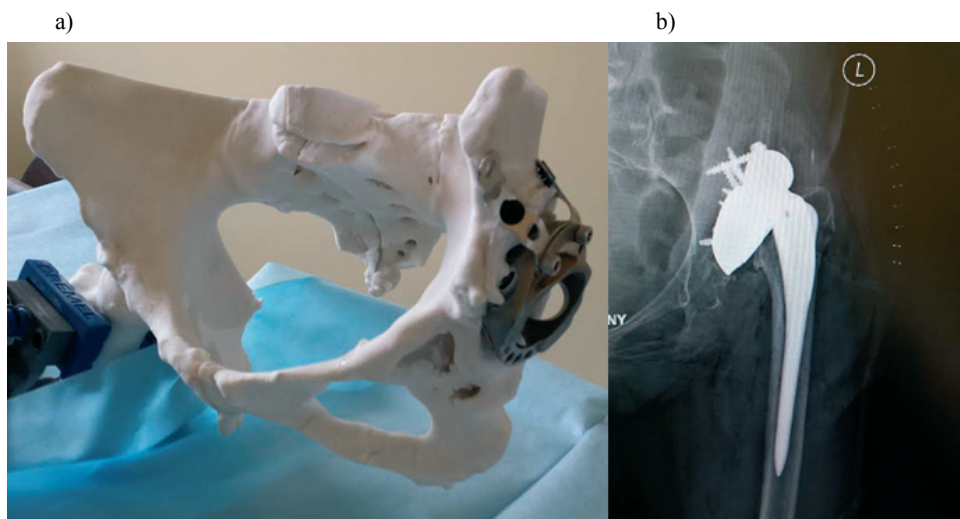
Celem artykułu jest przedstawienie wykorzystania druku 3D w technologii przyrostowej 3DP (proszkowej), na potrzeby planowania (symulacji) zabiegów ortopedycznych przed przystąpieniem do operacji. W artykule przedstawione zostaną zalety technologii addytywnych w medycynie oraz dostępności produktów wykonanych z użyciem tych technologii. Zostały przedstawione szacunkowe koszty wydruków wraz z uwzględnieniem oprogramowania koniecznego do obróbki modeli. Zaproponowano również rozwiązania, które pomogą obniżyć koszty wytwarzania modeli, aby były bardziej dostępne dla odbiorców końcowych (pacjentów, lekarzy).

## 2. Wykorzystanie druku 3D w medycynie

Obecnie wykorzystanie druków trójwymiarowych do celów medycznych jest niemożliwe z powodu zbyt wysokich kosztów wytwarzania modeli oraz materiału stosowanego do tego typu technologii [7]. Inną przyczyną jest brak potrzeby lub obawy wykorzystywania technologii przyrostowej przez lekarzy. Jednak lekarze, którzy mogli zapoznać się z tą technologią, potwierdzają zgodnie, iż mogą one wpłynąć na precyzyjny przebieg operacji [6, 13]. Możliwe jest dokładne zaplanowanie przebiegu operacji na podstawie wydrukowanego modelu pacjenta za pomocą zwykłych narzędzi chirurgicznych [11, 14]. W sposób samodzielny możliwe jest dobranie przez chirurga najlepszej dla pacjenta techniki operacji [13]. Zatem operacje mogą być przez lekarzy symulowane na modelach w sposób realistyczny (rys. 1).

Środowiska lekarskie w Polsce nie są winne temu, że nie są wykorzystywane technologie przyrostowe w planowaniu operacji lub w implantologii. Związane jest to z ciągłym rozwojem tej gałęzi technologii oraz poszerzającymi się jej zastosowaniami. Przyczyny nie wykorzystywania w medycynie na szerszą skalę można przedstawić za pomocą czynników zewnętrznych, jak i wewnętrznych, które wpływają negatywnie na wdrożenie druku 3D do planowania operacji:

- brak wiedzy lekarzy z zakresu wydruków trójwymiarowych oraz zastosowań ich w medycynie (implantologii, protetyce),
- brak szkoleń, portali i wsparcia warsztatowo-informacyjnego dla lekarzy,
- przerost czynności biurokratycznych oraz prawnych,
- promowanie zakresu druku 3D na potrzeby medycznych rozwiązań o szerokim zastosowaniu, wysokich kosztach i wysokiej ostatecznej cenie,
- brak środków finansowych.

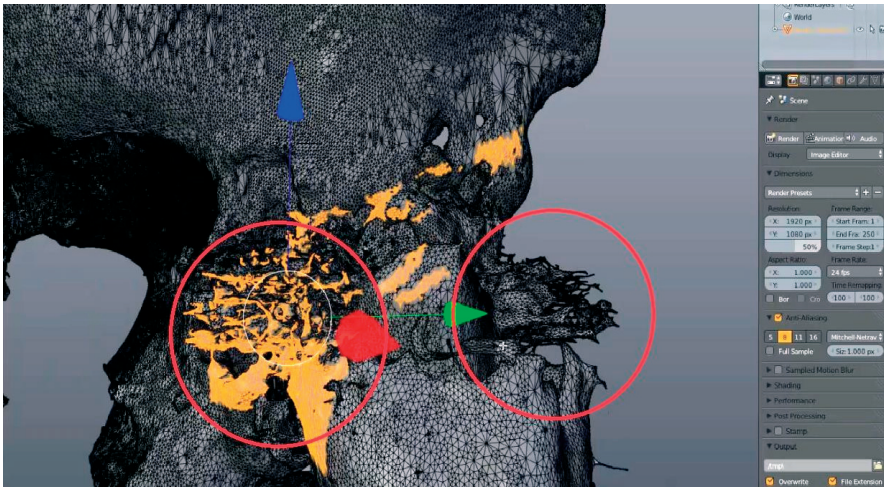


Rys. 1. Zaplanowanie przebiegu operacji oraz dopasowanie implantu do wytworzonej miednicy wykonanej za pomocą technologii przyrostowej (a) i rezultat wszczępienia implantu endoprotezy stawu biodrowego (b)

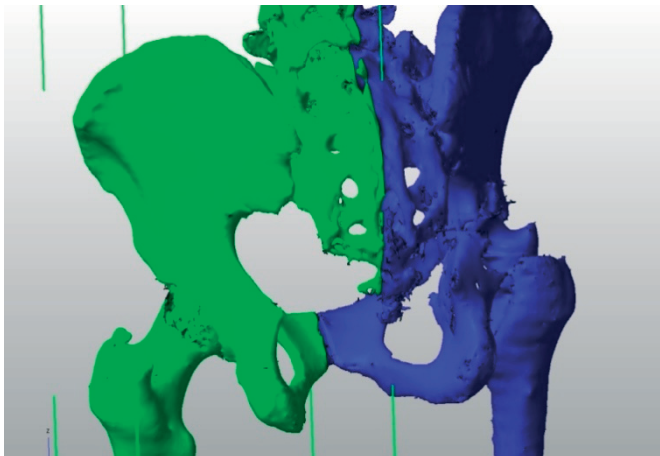
Obecnie dostępne informacje o zastosowaniu technologii przyrostowych do celów chirurgicznych są coraz powszechniejsze, przez co środowisko lekarzy jest coraz bardziej świadome postępu w planowaniu operacji i projektowaniu implantów na miarę [13, 14, 17].

Nadal głównym brakiem wykorzystania technologii addytywnych jest zbyt wysoka cena wykonania obiektu 3D. Wynika to z kosztu wykorzystania maszyny, materiału oraz obróbienia zdjęć pozyskanych z CT lub MRI, za pomocą programów komputerowych [7]. Obróbka ta polega na usunięciu artefaktów [20] oraz wygładzeniu szumów, które powstały w wyniku wykonywania badań na tomografie komputerowym lub rezonansie magnetycznym [7, 8].

W artykule zostaną uwzględnione czynniki produkcyjno-materiałowe, mające rzeczywisty wpływ na kształtowanie się ceny produktu dla odbiorcy finalnego. Proces ten został podzielony na bloki. Każdy z bloków jest to proces produkcyjny, na wejściu posiadający wymogi, a na wyjściu efekty. Na ich podstawie opracowywany jest kolejny etap. Jeżeli ma zostać wykonany wydruk 3D, przeprowadzone jest obrazowanie interesującej tkanki w jasno określonych standardach. Dzięki temu, wykonanie modelu 3D na podstawie obrazowania, powstaje w krótkim czasie i z niewielkimi odchyleniami od rzeczywistej tkanki (rys. 2 i 3). Taka sama zasada dotyczy dalszych kroków w procesie produkcji.



Rys. 2. Przykład źle wykonanego obrazowania miednicy wraz z widocznymi artefaktami w modelu 3D (czerwone okręgi)



Rys. 3. Poprawiony model miednicy, oczyszczony z artefaktów



### 3. Problemy artefaktów wynikających z obrazowania medycznego

Obrazowanie medyczne pacjentów jest wykonywane przy użyciu tomografii komputerowej oraz rezonansu magnetycznego. Przed zapisaniem wyniku obrazowania do formatu DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) zostaje ono poddane obróbce przez radiologa. Surowy obraz (RAW) poddawany jest odpowiednim filtrom komputerowym dostępnym bezpośrednio w oprogramowaniu do obsługi tomografu. Ma to na celu zniwelowanie szumów występujących w obrazowaniu, poprzez ich rozmazanie oraz wyostrenie krawędzi badanej struktury kostnej. Następnie zostaje wykonywane progowanie obrazu (thresholding) w celu usunięcia artefaktów na modelu medycznym wykonanym z obrazów CT lub MRI [20]. Artefakty te mają kilka przyczyn powstawiania. Mogą być: zakłóceniami powstałymi w wyniku importu danych z urządzenia medycznego do komputera, podczas pobierania danych przez CT lub MRI, błędami wykonanymi przez urządzenie w skutek poruszenia się detektorów lub badanego pacjenta. Artefakty mogą również powstać pod wpływem zakłóceń z innych urządzeń znajdujących się w szpitalu [20]. Kolejnym krokiem działania jest usuwanie owych artefaktów i wszystkich innych elementów, które nie są przewidziane do druku - służy temu thresholding. Ponadto można również edytować obraz poprzez usuwanie luznych struktur, niezwiązanych z modelem lub wygładzać powierzchnię modelu [8].

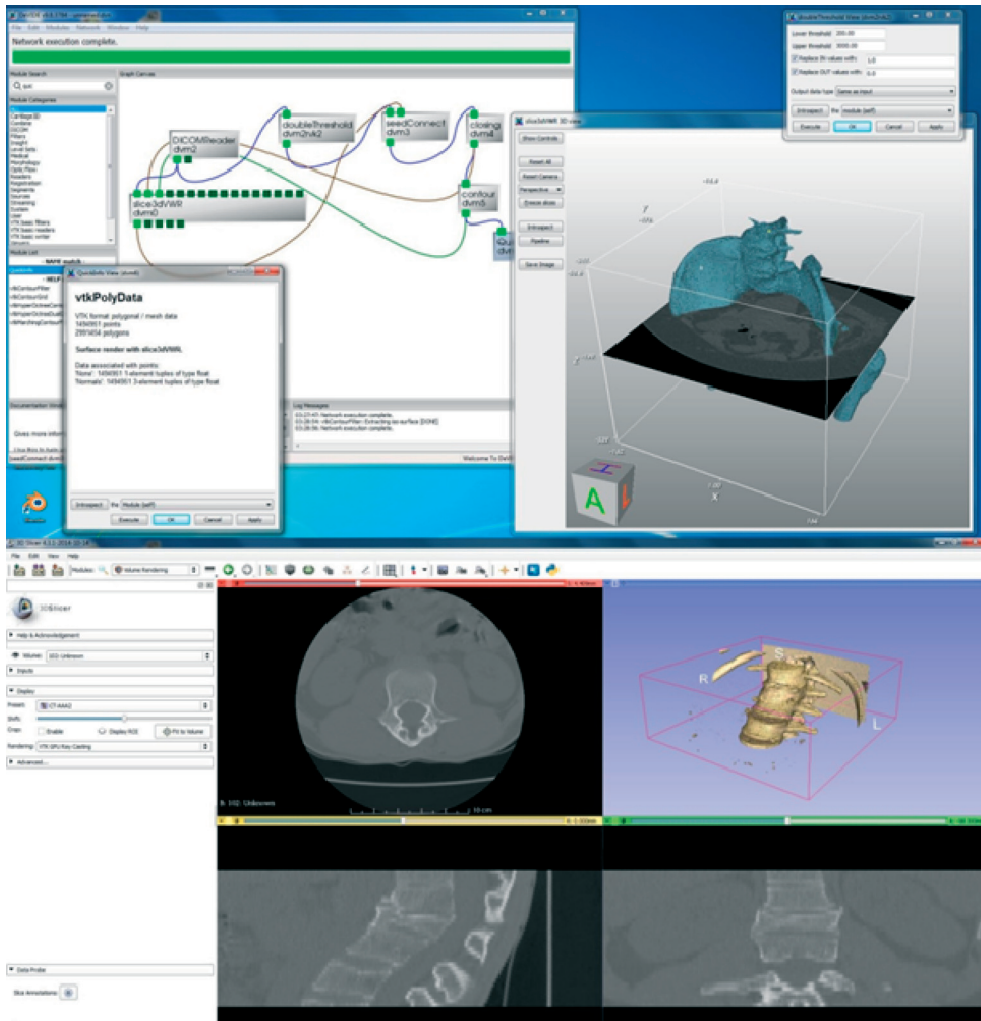
Dzięki ciągłej współpracy z Katedrą Radiologii Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, zespół pod opieką prof. A. Urbanika przeprowadza „wstępną” filtrację obrazu jeszcze przed konwersją z pliku RAW (z ang. „surowy”, czyli niepoddany żadnej obróbce) do DICOM [5]. W zależności od badanej przestrzeni obraz podlega filtracji już na tym etapie pracy dzięki stosowaniu różnych algorytmów. Uzyskany w ten sposób obraz jest optymalny pod względem rozmycia szumów, jak i ostrości krawędzi. Gęstość przekroju to 1 mm. Tak przygotowane obrazowanie zostaje zapisane do formatu DICOM, a następnie przy pomocy odpowiedniego oprogramowania, następuje rekonstrukcja interesującej nas tkanki do modelu 3D (inżynierii odwrotna).

### 4. Używane oprogramowanie

Pozyskanie modelu trójwymiarowego z obrazów CT lub MRI jest możliwe poprzez wykorzystanie komercyjnego oprogramowania. Niestety, często cena takich programów jest bardzo wysoka, przez co nie każdą jednostkę badawczą stać jest na takie oprogramowanie. Ceny specjalistycznych programów często zaczynają się od kilkudziesięciu tysięcy złotych brutto na rok.

Zakładając, że w przyszłości wydruki modeli mają być coraz bardziej powszechniejsze, to należałoby obniżyć koszty ich produkcji oraz wykorzystywanego oprogramowania. Niestety obecnie firmy zajmujące się produkcją oraz sprzedają omawianych wydruków, muszą średnio w ciągu roku sprzedać 200 wydruków i do każdego z nich doliczyć 300 zł brutto, aby koszt oprogramowania uległ amortyzacji. Są to kwoty uniemożliwiające wprowadzenie powszechności wydruków w szpitalach. Cena końcowa produktu jest zbyt wysoka w stosunku do dostępnych środków, przez co należy znaleźć optymalne rozwiązania umożliwiające wprowadzenie wydruków 3D do użytku medycznego.

Obecnie na rynku dostępne są programy open-source, które nie wymagają licencji do uruchomienia programu oraz są darmowe dla wszystkich użytkowników. Wykorzystanie takich programów może pomóc zmniejszyć koszt obrabiania modeli 3D do minimum – nadal istnieją takie same koszty związane z obsługą tego procesu tworzenia modelu 3D, jednak cena samego oprogramowania wynosi 0 zł. Ponadto oprogramowania te mają ogromne możliwości: od tworzenia brył przestrzennych po obrabianie plików DICOM (rys. 4). Niestety często zdarza się, że takie oprogramowania nie cechują się intuicyjnym interfejsem użytkownika.



Rys. 4. Generowanie modeli 3D ze zdjęć wykonanych za pomocą tomografu komputerowego

Generowanie modeli przestrzennych w każdym z programów (komercyjnym lub open-source) opiera się na tej samej zasadzie [4, 15]:

- należy wgrać sekwencję obrazów interesującego nas wycinka pacjenta,
- oznaczyć interesujący fragment, z którego chcemy zrobić model 3D,
- użyć funkcji do konwersji z danych dwuwymiarowych w formie pikseli na trójwymiarowe piksele zwane woksłami [12],
- wykonać konwersję woksli do postaci obiektu typu mesh, składającego się z obiektów zwanych werteksami [2],
- obrobić wygenerowane model i usunąć artefakty,
- zapisać model do postaci edytowalnego modelu 3D w formacie pliku stl, obj, caład (lub innym dowolnym powszechnie stosowanym formacie do przechowywania modeli 3D) [19].

## 5. Wytworzenie modelu przy wykorzystaniu druku 3D

Druk 3D odbywa się za pomocą technologii przyrostowych na proszkowej drukarce 3D. Technologia ta jest jedną z najtańszych dostępnych na rynku. Opiera się ona na spajaniu kolejnych warstw proszku (pochodnego gipsu) lepiszczem, warstwa po warstwie. Dzięki niskiemu zużyciu materiałów eksploatacyjnych, prądu oraz niewielkiej awaryjności, można ją zaliczyć do jednej z najtańszych, profesjonalnych drukarek. Czas wydruku to około 7 godzin (dla połowy miednicy wraz z kością krzyżową oraz 20 cm odcinkiem kości udowej przedstawionej na rysunku 5). Tak wydrukowany model zostaje poddany oczyszczeniu, utwardzeniu (cyjanoakrylem lub żywicą epoksydową) i oddany zleceniodawcy.



Rys. 5. Wydruk połowy miednicy wraz z kością udową za pomocą drukarki proszkowej

## 6. Wnioski

W artykule przedstawiono zastosowanie druku trójwymiarowego w medycynie. Zalecany jest wykorzystanie tej technologii do wytworzenia modelu, jak jest widoczne w programie komputerowym. Technologie generatywne są coraz częściej wykorzystywane w medycynie do zaplanowania zabiegów operacyjnych na budowanym modelu odwzorowującym wnętrze pacjenta. W ten sposób można skrócić przebieg operacji, jak również dopasować odpowiednią technikę operacyjną.

Niestety koszt technologii, wykorzystywanych materiałów, jak i stosowanego oprogramowania jest wciąż zbyt duży do rozpowszechniania takiej metodologii badawczej na szerszą skalę. Generuje to potrzebę opracowania tańszej, ekwiwalentnej metodologii. Dlatego można zacząć wykorzystywać darmowe oprogramowanie (open-source), które spowoduje zmniejszenie kosztu wytworzenia obiektu za pomocą technologii przyrostowej. Jak udowodniliśmy, oprogramowanie to, znajduje zastosowanie do celów medycznych, zapewniając, że wykonanie modeli o bardzo wysokim stopniu odzwierciedlenia rzeczywistego stanu kośćca pacjenta, przy jednoczesnej minimalizacji kosztów oprogramowania dozwolonego.

## Literatura

- 1 Bagaria V., Deshpandeb S., Rasalkar D.D., Kuthe A., Paunipagar B.K. *Use of rapid prototyping and three-dimensional reconstruction modeling in the management of complex fractures*. European Journal of Radiology 80 (2011) 814–820.
- 2 Botsch M., Pauly M., Kobbelt L., Alliez P., Levy B., Bischoff S., Rossli C. *Geometric modeling based on polygonal meshes*. ACM SIGGRAPH '06, New York, NY, USA 2006.
- 3 Brennan J. *Production of anatomical models from CT scan data*. Dublin Institute of Technology 2010.
- 4 Choi J.Y., Choi J.H., Kim N.K., Kim Y., Lee J.K., Kim M.K., Lee J.H., Kim M.J. *Analysis of errors in medical rapid prototyping models*. Int. J. Oral Maxillofac. Surg. 31 (2002) 23–32.
- 5 Chrzan R., Urbanik A., Karbowski K., Moskała M., Polak J., Pyrich M. *Cranioplasty prosthesis manufacturing based on reverse engineering technology*. Med SciMonit, 2012; 18(1): MT1-6; PMID: 22207125.
- 6 Esses S.J., Berman P., Bloom A.I., Sosna J. *Clinical applications of physical 3D models derived from MDCT data and created by rapid prototyping*. AJR. 2011; 196: W683–W688.
- 7 Frame M., Huntley J.S. *Rapid prototyping in orthopaedic surgery: A Users Guide*. Orthopaedic Department, Royal Hospital for Sick Children, Glasgow UK 2012.
- 8 Hetroy F., Rey S., Andujar C., Brunet P., Vinacua A. *Mesh repair with user-friendly topology control*. Computer-Aided Design 43(1) (2011) 101–113.
- 9 Hurson C., Tansey A., O'Donnchadha B., Nicholson P., Rice J., McElwain J. *Rapid prototyping in the assessment, classification and preoperative planning of acetabular fractures*. Injury, Int. J. Care Injured 38 (2007) 1158–1162.
- 10 Markowska O., Budzik G. *Innovative methods of manufacturing bone implants using the reverse engineering (RE) and the rapid prototyping (RP) techniques*. Artykuł Autorzski z X Forum Inżynierskiego ProCAX, Sosnowiec/Siewierz 6–9 X 2011r.
- 11 Mashiko T., Otani K., Kawano R., Konno T., Kaneko N., Ito Y., Watanabe E. *Development of three-dimensional hollow elastic model for cerebral aneurysm clipping simulation enabling rapid and low cost prototyping*. WORLD NEUROSURGERY, October 2014.
- 12 MCT, *An introduction to MICRO CT SCAN okt.*, 2008.
- 13 Petzold R., Zeilhofer H.F., Kalender W.A. *Rapid prototyping technology in medicine – basics and applications*. Computerized Medical Imaging and Graphics 23 page: 277–284, Munich, Germany, Received 23 February 1999.
- 14 Potamianos P., Amis A.A., Forester A.J., McGurk M., Bircher M. *Rapid prototyping for orthopaedic surgery*. Rapid Prototyping For Orthopaedic Surgery, Vol 2012 Part H, 1998.
- 15 Rengier F., Tengg-Kobligk H., Zechmann C., Kauczor H.U., Giesel F.L. *Beyond the eye – medical applications of 3D rapid prototyping objects*. Eur.Med.Imag.Rev. 1 (2009) 76–80.
- 16 Sailer H.F., Haers P.E., Zoilikofer C.P.E., Warnke T., Cads F.R., Stucki P. *The value of stereolithographic models for preoperative diagnosis of craniofacial deformities and planning of surgical corrections*. Int. J. Oral Maxillofac. Surg. 27 (1998) 327–333.
- 17 Seitz H., Tille C., Irsen S., Bermes G., Sader R., Zeilhofer H.F. *Rapid prototyping models for surgical planning with hard and soft tissue representation*. International Congress Series 1268 (2004) 567–572.
- 18 Wang C.S., Wang W.H.A., Lin M.C. *STL rapid prototyping bio-CAD model for CT medical image segmentation*. Computers in Industry 61 (2010) 187–197.
- 19 Webb P.A. *A review of rapid prototyping (RP) techniques in the medical and biomedical sector*. Journal of Medical Engineering & Technology 24(4) (2000) 149–153.
- 20 Winder J., Bibb R. *Medical rapid prototyping technologies: State of the art and current limitations for application in oral and maxillofacial surgery*. American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons 63 (2005) 1006–1015.



## 3D printing, as a tool for planning orthopedic surgery

Małgorzata Cykowska-Blasiak<sup>1</sup>, Paweł Ozga<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *The Department of Laser Technology, Automation and Production Organisation, Mechanical Department, Wrocław University of Technology, e-mail: malgorzata.cykowska@pwr.wroc.pl*

<sup>2</sup> *Faculty of Interior Design and Service Department of Informatics Academy of Fine Arts in Kraków, e-mail: pozga@asp.krakow.pl*

**Abstract:** The purpose of the literature review is to determine the scope of 3D printing, also known as RP (Rapid Prototyping) applications in manufacturing medical model based on CJP (Collor Jet Printing) technology, with emphasis on the use in orthopedic surgery planning. The research of the presented method will be focused on the financial aspect. Researchers accept as axiomatic fact that the main buyer of the MRP (Medical Rapid Prototyping) structure will be the patient while the recipient will be the doctor or surgeon that provides the operation.

Using available open-source software solutions and suitable method for the treatment of CT (Computed Tomography) scans based on filtering RAW files managed we to get the best or relatively good results allowing to exclude a human work from one of the most difficult and time-consuming processes. Total cost of 3D printings including all production processes and post-productions are about 50% lower than commercial rates (on free market) for the model of: "oscoxae" including "osfemoris" (femur length not exceeding 20 cm). In our opinion it's "relatively positive" effect.

Despite the success in the field of lowering the cost of 3D prints our work is still focused on reducing it (at least up to another 30%) by using automated-machine processing and tasks automation, as well as using another printing methods. Using 3D printings as a tools to help plan complex orthopedic surgeries make possible to extremely reduce the time of using instrumentation and the treatment time (comparing to similar surgeries carried out without using 3D printings).

**Keywords:** Rapid Prototyping, 3D Printing, implants, surgery planning, additive manufacturing.

