

WYBRANE ZASTOSOWANIA SKANERÓW I DRUKAREK 3D W INŻYNIERII REHABILITACYJNEJ

Łukasz Ziarniecki¹, Sonia Stańczak¹, Patryk Kawalec¹, Marek Macko², Dariusz Mikołajewski*²

¹ Koło Naukowe Mechatroniki przy Instytucie Mechaniki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy

² Instytut Mechaniki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy
e-mail: dmikolaj@wp.pl

Streszczenie: Skanowanie 3D umożliwia zapis charakterystyk obiektów fizycznych w formie plików cyfrowych, natomiast druk 3D umożliwia tworzenie obiektów fizycznych z plików cyfrowych. Obecne obszary zastosowań ww. technologii 3D są niezwykle szerokie. Technologia druku 3D może spowodować kolejną rewolucję (podobną do rewolucji cyfrowej) zarówno w gospodarce, jak i w życiu codziennym: modyfikując lub zastępując obecnie wykorzystywane modele wytwarzania, dystrybucji oraz konsumpcji towarów i usług. Celem pracy jest ocena, do jakiego stopnia wykorzystujemy zastosowania skanerów 3D i drukarek 3D w inżynierii rehabilitacyjnej.

Słowa kluczowe: mechatronika, informatyka, druk 3D, zastosowania biomedyczne.

Selected applications of 3D scanners and 3D printers in rehabilitation engineering

Abstract: 3D scanning allows for recording of the physical objects in the form of digital files. 3D printing allows for creating physical objects from digital files. Current areas of applications of the aforementioned 3D technologies are remarkably wide. 3D printing technology can provide another breakthrough (similar to digital revolution) both in country economy and everyday life, mainly through modification or replacement currently used models of manufacturing, distribution and consumption of products and services. This article aims at assessment the extent to which 3D printers and 3D scanners have been applied in rehabilitation engineering..

Keywords: mechatronics, information technology, 3D printing, biomedical applications.

1. Wprowadzenie

Skanowanie 3D umożliwia zapis charakterystyk obiektów fizycznych w formie plików cyfrowych, natomiast druk 3D umożliwia tworzenie obiektów fizycznych z plików cyfrowych, najczęściej metodą kolejnego nakładania warstw. Połączenie technologii skanowania 3D oraz druku 3D daje możliwość stosunkowo taniego tworzenia/odtworzenia obiektów o złożonej strukturze wewnętrznej, co jest trudne do osiągnięcia za pomocą konkurencyjnych technologii. Technologia druku 3D może spowodować kolejną rewolucję (podobną do rewolucji

cyfrowej) zarówno w gospodarce, jak i w życiu codziennym: modyfikując lub zastępując obecnie wykorzystywane modele wytwarzania (projektowanie, modelowanie, testowanie prototypu, itd.), dystrybucji oraz konsumpcji towarów i usług. Obszary zastosowań technologii 3D są niezwykle szerokie: od przemysłu (prototypowanie, produkcja wyrobów gotowych, w tym w motoryzacji), nauki, sztuki, architektury, aż po medycynę czy edukację. Wbrew pozorom może wpłynąć na redukcję outsourcingu. Modelowanie (na miejscu, bez przestoju) zaczyna być dostępne na bardzo wczesnych etapach pracy nad projektem, co może skrócić czas jego realizacji,

szczególnie w przypadku modeli części o krytycznym znaczeniu dla całości urządzeń. Zmniejsza to zespół projektowy i ogranicza możliwość niepowołanego dostępu do najważniejszych rozwiązań. Dodatkowo rozwój technologii 3D może mieć pozytywny wpływ na ochronę środowiska i zrównoważony rozwój, w tym na recykling tworzyw sztucznych. Rozwój technologii 3D przyspiesza dostępność taniego lub nawet darmowego (opensource'owego) sprzętu i oprogramowania oraz gotowych, dostępnych na rynku zestawów [1-9].

2. Technologia skanerów 3D

Skanery 3D to nowoczesne urządzenia typu „plug&scan” do bezdotykowych pomiarów i tworzenia dokumentacji obiektów fizycznych, w tym technicznych czy biologicznych. Ich najważniejsze zalety obejmują:

- automatyzacja procesu pomiarowego,
- duża dokładność pomiarów,
- badanie zarówno kształtu, jak i tekstury obiektów,
- brak konieczności każdorazowej kalibracji,
- prostota obsługi,
- mobilność (w części zastosowań) – często w postaci walizki z obrotowym składanym stolikiem/podestem na mniejsze objekty,
- nieinwazyjność (w części zastosowań – przy pomiarach światłem białym np. obiektów muzealnych),
- stosunkowo łatwa obróbka wyników, współdzielenie plików oraz możliwość zapisu danych w wielu popularnych formatach plików.



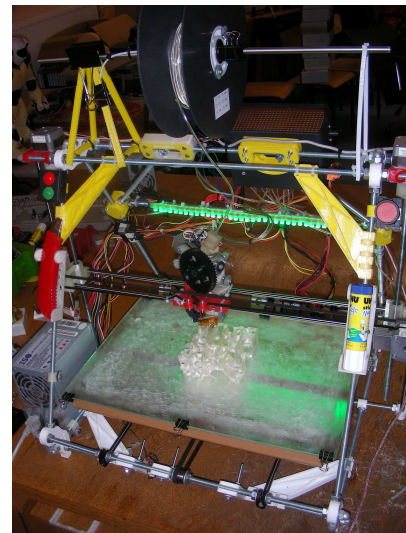
Rysunek 1. Skaner 3D (materiały własne). Nie wiadomo, jak długo utrzyma się obecny podział na skanery 3D stykowe (rmieniowe, współrzędnościowe, na CNC) oraz bezstykowe (światła białego, laserowe, fotogrametryczne).

3. Technologia druku 3D

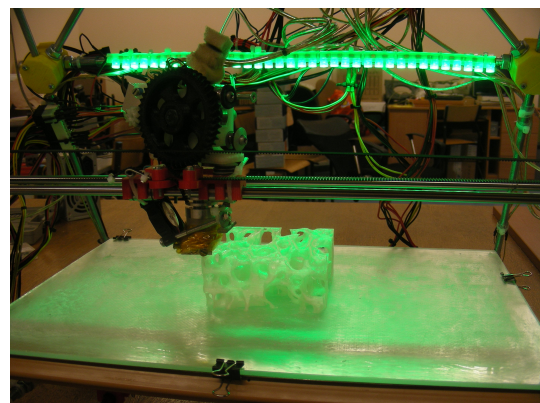
Drukowanie 3D obejmuje szereg technologii silnie zależnych od wielkości i precyzji wykonania przedmiotu, wykorzystywanego materiału oraz przeznaczenia obiektu (forma, prototyp, gotowy przedmiot). Już obecnie technologie takie jak MEM/FDM czy LOM zapewniają:

- szybkość druku,
- ekonomikę,
- zwartą budowę,
- estetykę wykonania.

a)



b)



Rysunek 4. Drukarka 3D: a) wygląd zewnętrzny, b) drukowanie modelu kości /materiały własne/

4. Inżynieria odwrotna

Proces inżynierii odwrotnej umożliwia tworzenie dokumentacji 3D dowolnych obiektów (wielkości od kilku-kilkunastu milimetrów do kilkudziesięciu metrów) oraz przetwarzanie ww. wyników pomiarowych do druku 3D. Model fizyczny staje się wzorcem dla modelu wirtualnego, potencjalnych prototypów, ich testowania i modernizacji. Ułatwia to poznanie działania nawet skomplikowanych urządzeń, powielanie rozwiązań, również częściowo zautomatyzowane.

5. Biomedyczne zastosowania skanowania 3D oraz druku 3D

Szybki postęp technologiczny w obszarze skanerów i drukarek 3D, w połączeniu z innymi medycznymi technologiami 3D i symulacyjnymi, takimi jak:

- atlasy (neuro)anatomiczne 3D,
- tomografia komputerowa – CT (ang. *Computed Tomography*),
- funkcjonalne obrazowanie rezonansem magnetycznymi – fMRI (ang. *functional Magnetic Resonance Imaging*),
- lokalizacja źródeł w elektroencefalografii i magnetoencefalografii,
- powstanie centrów symulacji medycznej i zapotrzebowanie na realistyczne (anatomicznie i funkcjonalnie) fantomy,
- rekonstrukcja obiektów 2D do 3D,
- przyszłościowe technologie jak nanomedycyna (m.in. drukowane nanostruktury z hydrożeli), wykorzystanie NEMS i MEMS, Lab-on-the-chip itp.,

prowadzi do przewrotu w badaniach i codziennej praktyce klinicznej, ze szczególnym uwzględnieniem: edukacji specjalistów medycznych [10, 11], diagnostyki, planowania leczenia i rehabilitacji (w tym zabiegów chirurgicznych), transplantacji organów (w tym organów sztucznych) [12-15]. Uważa się, że najważniejsze obszary wykorzystania technologii 3D w biomedycynie obejmują:

- wytwarzanie tkanek i organów,
- protetykę personalizowaną (w tym nowe technologie w obszarze doboru i wytwarzania implantów),
- nowatorskie (również: personalizowane) formy dystrybucji leków w organizmie [16-17].

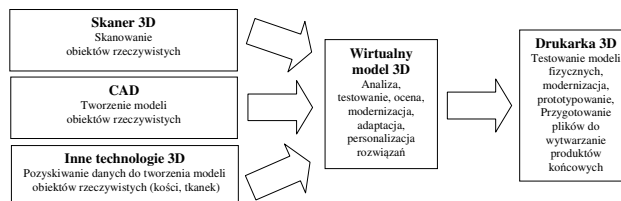
Ciekawym zastosowaniem drukarek 3D jest wykorzystanie ich w projektowaniu i produkcji akcesoriów wykorzystywanych w ramach badań fMRI [18].

Z punktu widzenia mechatroniki i informatyki obszarem szczególnie silnego zainteresowania naszego Koła jest

inżynieria rehabilitacyjna - interdyscyplinarna dziedzina łącząca wiedzę techniczną i przyrodniczą zajmująca się rozwiązaniami technicznymi wspomagającymi rehabilitację i fizjoterapię.

To krok w stronę medycyny spersonalizowanej (ang. *patient-tailored therapy*) – lepiej trafiającej w potrzeby pacjenta, zwiększającej efektywność terapii, skracającej czas pobytu w szpitalu, zapewniającej wyższą wynikową jakość życia pacjenta. Rozwój tzw. *low-cost 3D printing* może znacząco zwiększyć dostępność niektórych z rozwiązań medycznych, bez pogorszenia ich jakości. Jest to nieodzowne, gdyż choroby cywilizacyjne (udary, choroby układu krążenia i oddechowego, cukrzyca, schorzenia neurodegeneracyjne, itp.) stanowią coraz poważniejszy problem medyczny, społeczny i ekonomiczny, na równi z szybkim starzeniem się społeczeństwa.

Osoby przewlekle chore, niepełnosprawne oraz w podeszłym wieku stanowią również coraz ważniejszą grupę docelową dla przemysłu i handlu, a rozwiązania (produkty, usługi) im dedykowane zajmują coraz poważniejsze miejsce w ofercie produktów rynkowych.



Rysunek 5. Możliwości wykorzystania skanerów 3D i drukarek 3D w inżynierii rehabilitacyjnej.

6. Przykłady rozwiązań

Do najciekawszych rozwiązań należy drukowanie 3D:

- opравоk okularów dopasowywanych indywidualnie,
- opatrunków zastępujących gips (np. Cortex – w formie siatki o różnicowanej gęstości i dzięki temu ochronie i giętkości oraz wodoodporny),
- indywidualnie dopasowywanych ortez (w dużym skrócie: usztywniających i podpierających),
- protez¹, szczególnie kończyn górnych, których konstrukcja jest bardzo złożona – może to również rozwiązań również problem protez dla dzieci „rosnących” wraz z nimi,

¹ Ciekawą opcją jest drukowanie protez zębów czy całych szczęk.

- części układu kostnego (np. miednicy),
- komórkami biologicznymi - umożliwiające zachowanie wymiarów oraz właściwości tkanki [19],
- indywidualnie dopasowywanych do pacjenta elementów wózków dla niepełnosprawnych, egzoszkieleatów (Wrex) czy robotów rehabilitacyjnych, co szczególnie w rehabilitacji domowej i telerehabilitacji może zwiększyć komfort pacjenta, ułatwić opiekę oraz zwiększyć efektywność terapii,
- indywidualnie dobranych przedmiotów z zakresu *Assistive Technology*, ułatwiających codzienne funkcjonowanie osób przewlekle chorych, niepełnosprawnych i w podeszłym wieku w domu czy pracy - ich dobór i dopasowanie mogłyby następować w tzw. pracowniach codziennego życia, gdzie osoby np. po udarze uczą się funkcjonowania z deficytami przed powrotem do normalnego życia

Ograniczenia we własnościach materiałów można przezwyciężyć poprzez wykorzystanie skanerów 3D i drukarek 3D do wytwarzania form do właściwych protez. Innym sposobem jest składanie wybranych elementów z dwóch, oddzielnie drukowanych, warstw: usztywniającej i elastycznej. Pozwoli to na jednoczesne zapewnienie wymaganej ochrony, elastyczności, a dodatkowo wytrzymałości i odporności na czynniki zewnętrzne, takie jak np. wilgoć. Jest szansa, że spadnie cena „drukowanego” zaopatrzenia ortopedycznego, przy jednoczesnym skróceniu czasu ich dopasowania i wykonania (do około 3 godzin).

Już od kilku lat dostępny jest na rynku skaner 3D w technologii światła białego LED wyposażony w dwa ultraszybkie detektory pozwala na jednoczesny pomiar całej twarzy bądź dowolnego obiektu biologicznego o powierzchni od ucha do ucha (dla twarzy człowieka) w ciągu 1,5 sekundy (2,6 mln punktów/1,5 sekundy). Szybkość skanowania jest ważna np. w przypadku skanowania dzieci. Inne rozwiązania pozwalają na skan 3D wad postawy, ran, kończyn i innych części ciała².

7. Ograniczenia

Interdyscyplinarność badań niesie ze sobą konieczność współpracy specjalistów z różnych nauk, obszarów, dziedzin i dyscyplin. Stosunkowo mała liczba badań powoduje konieczność tworzenia niemal „od podstaw” metodologii badań oraz warsztatu badawczego. Brak

standaryzacji oraz brak rozwiązań uniwersalnych powoduje konieczność tworzenia rozwiązań dedykowanych do poszczególnych zastosowań. Ciągłe istnieje konieczność rozwiązania wielu problemów inżynierskich, dotyczących m.in. własności materiałów (np. ich wytrzymałości czy trwałości) oraz przedmiotów z nich wykonanych. Należy również wziąć pod uwagę ograniczenia w technologii 3D:

- ograniczoną dokładność,
- ograniczoną liczbę materiałów i ich parametrów,
- obostrzenia prawne dotyczące np. wytwarzania elementów broni, praw autorskich, powielania dzieł sztuki itp.

Utrata części informacji o rzeczywistej powierzchni obiektu (np. miękkości i elastyczności podeszwy stopy) ma również swój wpływ na część zastosowań.

Nie należy również zapomnieć o możliwości „zachłystnięcia się” nową technologią i próbach stosowania jej prawie wszędzie. Zdrowy rozsądek, umiar oraz podejście oparte na paradygmacie *Evidence Based Medicine* są tu jak najbardziej wskazane.

8. Kierunki dalszych badań

Najważniejsze kierunki dalszych badań obejmują:

- wykorzystanie drukarek 3D i skanera 3D w szybkim prototypowaniu, w tym elementów urządzeń inżynierii biomedycznej,
- wykorzystanie drukarek 3D i skanera 3D w mechatronice,

a w dalszej perspektywie:

- badania rekonstrukcyjne, w tym na potrzeby (neuro)anatomii i (neuro)fizjologii,
- inteligentne i zrobotyzowane wózki dla niepełnosprawnych,
- roboty rehabilitacyjne i egzoszkieleaty,
- urządzenia rehabilitacyjne sterowane za pomocą systemów sztucznej inteligencji, w tym logiki rozmytej i sztucznych sieci neuronowych.

Ważną kwestią jest wpasowanie ww. rozwiązań w środowiska już istniejące, np. inteligentnego domu, inteligentnego ubrania czy inteligentnego środowiska osoby niepełnosprawnej [20, 21].

Szereg nowych pomysłów pozwala realizować współpracę z naukowcami z Laboratorium Neurokognitywnym Interdyscyplinarnego Centrum Nowoczesnych Technologii (ICNT) Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, Katedry Fizjoterapii Collegium Medicum UMK w Bydgoszczy oraz 10 Wojskowego Szpitala Klinicznego z Polikliniką w Bydgoszczy.

² <http://www.smarttech.pl> - data pobrania 28.08.2019r.

9. Wnioski

Dotychczasowe możliwości skanerów 3D i drukarek 3D w inżynierii rehabilitacyjnej nie są obecnie w pełni wykorzystywane. Wysiłki członków Koła idą nie tylko w kierunku rozpowszechnienia ww. technologii, ale również rozwijania własnych urządzeń mechatronicznych, w tym z wykorzystaniem szybkiego prototypowania. Ograniczenia technologiczne oraz metodologiczne wymagają prowadzenia badań interdyscyplinarnych oraz łączenia wysiłków uczelni o różnym profilu. Rozszerza to znacznie również możliwości edukacyjne, również dzięki przeniesieniu dotychczasowych prac projektowych do obszaru fizycznych modeli.

Bibliografia

1. Canessa E., Fonda C., Zennaro M. Low cost 3D printers for science, education & sustainable education. Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, 2013
2. Czerwieński K., Czerwieński M. Drukowanie w 3D. InfoAudit, 2014.
3. Evans B. Practical 3D Printers: The Science and Art of 3D Printing. Springer Verlag, 2012
4. Frauenfelder M. Make: Ultimate Guide to 3D Printing 2014. O'reilly Vlg. Gmbh&Co., 2014.
5. Hausman K., Horne R. 3D Printing For Dummies. John Wiley&Sons, 2014.
6. Hood-Daniel P., James K., Kelly K. Printing in Plastic: Build Your Own 3D Printer. Apress, 2011.
7. James Floyd K. 3D printing, Person Que, 2012.
8. Kaziunas France A. Świat druku 3D. Przewodnik. Helion 2014.
9. Wolszczak P. Druk 3D w edukacji technicznej. Forum Narzędziowe Oberon, 2014; 2(65): 16-17.
10. Vaccarezza M., Papa V. 3D printing: a valuable resource in human anatomy education. Anat Sci Int. 2014 [E-pub version].
11. Schubert C, van Langeveld M. C., Donoso L. A. Innovations in 3D printing: a 3D overview from optics to organs. Br J Ophthalmol. 2014; 98(2):159-161.
12. Ventola C. L. Medical Applications for 3D Printing: Current and Projected Uses. P T. 2014 ; 39(10):704-711.
13. Huang W., Zhang X. 3D Printing: Print the future of ophthalmology. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2014; 55(8): 5380-5381.
14. Mironov V., Boland T., Trusk T., Forgacs G., Markwald R. R. Organ printing: computer-aided jet-based 3D tissue engineering. Trends Biotechnol. 2003; 21(4): 157-161.
15. Schubert C., van Langeveld M. C., Donoso L. A. Innovations in 3D printing: a 3D overview from optics to organs. Br J Ophthalmol. 2014; 98(2): 159-161.
16. Kolakovic R., Viitala T., Ihalainen P., Genina N., Peltonen J., Sandler N. Printing technologies in fabrication of drug delivery systems. Expert Opin Drug Deliv. 2013;10(12):1711-1723.
17. Ursan I. D., Chiu L., Pierce A. Three-dimensional drug printing: a structured review. J Am Pharm Assoc. 2013; 53(2):136-144.
18. Herrmann K. H., Gärtner C, Güllmar D, Krämer M, Reichenbach J. R. 3D printing of MRI compatible components: Why every MRI research group should have a low-budget 3D printer. Med Eng Phys. 2014; 36(10):1373-1380.
19. Mannor M. S. i in. 3D printed bionic ears. Nano Lett. 2013; 13(6): 2634–2639.
20. Mikołajewski D. Mikołajewska E. Exoskeletons in neurological diseases - current and potential future applications. Adv Clin Exp Med. 2011; 20(2):227–233.
21. Mikołajewska E., Mikołajewski D. Neurorehabilitacja XXI wieku. Techniki teleinformatyczne. Impuls, Kraków 2011.