

# 6

## NOWY WYMIAR CERAMIKI. NARZĘDZIA CYFROWE W PROCESACH KSZTAŁTOWANIA OBIEKTÓW CERAMICZNYCH – DRUK 3D

### 6.1 WPROWADZENIE

Ceramika, niemal od zawsze, odgrywała ważną rolę w życiu człowieka. Jest wyrazistym medium, umożliwiającym indywidualną ekspresję. Najstarsze ceramiczne artefakty datuje się na około 24000 lat p.n.e. Pierwsze obiekty wykonane były z surowej gliny wykopanej z ziemi, rozrobionej z wodą i wysuszonej na wolnym powietrzu. Przez kolejne tysiąclecia człowiek rozwiązywał różnego rodzaju problemy bytowe, zdobywał kolejne umiejętności, eksploatował dostępne materiały i surowce, podporządkowywał sobie inne istoty żyjące na Ziemi. Stosunkowo wcześniej, dla zaspokojenia rosnących potrzeb, pojawiły się funkcjonalne obiekty, świadomie kształtowane przez określone społeczności plemienne. Około 9000-10000 lat p.n.e. ludzie wytwarzali obiekty ceramiczne, pojemniki, naczynia, okładziny, a nawet cegły [1]. Przedmioty tworzone z gliny stosowane były do codziennego użytku, do dekoracji lub reprezentacji. Obiekty ceramiczne były obecne w domach, a także w miejscach publicznych, w miastach i wioskach. Ceramika została ukształtowana przez silną współzależność lokalnych, właściwych określonej szerokości geograficznej, regionów kulturowych, a także poprzez wykorzystanie kontekstów historyczno-kulturowych, takich jak jedzenie i picie, dekoracja czy tworzenie obiektów architektury. Należy zauważyć, że potrzeby wynikające z coraz większych umiejętności i rozwój technik wytwórczych, definiowane były w podobny sposób na różnych krańcach Ziemi, np. płytki ceramiczne pojawiły się niemal w tym samym okresie w Mezopotamii i w Indiach, ok. 14 000 lat p.n.e. [3].

Ceramika, czyli nazwa wyrobu ceramicznego, wywodzi się z greckiego określenia *κεραμικός* (*keramikos*), które pochodzi z kolei od słowa *κέραμος* (*keramos* – ziemia, glina) [4]. W dzisiejszych czasach określenie "ceramiczny" ma bardziej ekspansywny charakter i obejmuje takie materiały jak: szkło, ceramikę inżynierską, niektóre fabrykaty cementowe, spieki ceramiczne, tworzywa polimerowe i konglomeraty, nadprzewodniki. Należy zauważyć, że przy jednoczesnym zachowaniu pierwotnego znaczenia – produktu wykonanego

z gliny, stopniowo obejmowało ono inne wyroby wytwarzane w takim samym procesie produkcyjnym. Stąd też pojęcie ceramika, szersze niż materiał użyty do wyrobu, może dotyczyć techniki i nauki wytwarzania, oraz stosowania, podstawowych wyrobów zawierających, jako istotny składnik, komponent ceramiczny.

Współcześnie ceramikę dzielimy na dwie kategorie, ceramikę tradycyjną i ceramikę inżynierską. Ceramika jest substancją nieorganiczną i niemetaliczną, zbudowaną ze związków metali lub niemetałów, dzięki czemu poddana procesom termicznym uzyskuje swoją twardość i odporność na odkształcenia. Właściwości materiałów ceramicznych, jak wszystkich materiałów, podyktowane są przez rodzaje atomów, rodzaje wiązań pomiędzy tymi atomami i sposób w jaki one łączą się ze sobą. Rodzaj wiązania i struktury pomaga określić, jaki typ właściwości będzie miał dany materiał.

## 6.2 CERAMIKA TRADYCYJNA

Spośród licznych materiałów stosowanych do produkcji narzędzi, ozdób, elementów architektonicznych, ceramika, można by rzec, jest tworzywem „pierwotnym”, najbardziej autentycznym i najbliższym człowiekowi. Towarzyszy mu od zarania dziejów, cierpliwie znosząc jego kaprysy, poddając się jego woli. Naturalna w swojej strukturze, ujmując konsystencją, pozwala na przyjemne wrażenia haptyczne i wizualne. Pojawia się w wielu postaciach, w wyrobach stołowych i sanitarnych, naczyniach, urządzeniach, materiałach budowlanych. Występuje w postaci fajansu, majoliki, kamionki, klinkieru, porcelitu czy porcelany. Dzięki swoim właściwościom znalazła zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu.

Odkrycie przez Johanna Friedriecha Böttgera w 1708 r. składników białej porcelany kaolinowej było największą rewolucją w dziejach europejskiej ceramiki stołowej [2]. Trudno sobie dzisiaj wyobrazić, jak wielkie starania podjęto na początku XVIII w. na dworze króla Augusta II, aby wynaleźć recepturę porcelany o tak doskonałych parametrach.

Wspaniałe zastawy stołowe jeszcze do XX w. świadczyły o zamożności i pozycji społecznej restauratorów, wyrobionych estetycznie użytkowników i właścicieli kolekcji cennych utensyliów (rys. 6.1). Obecnie naczynia stołowe nie zawsze są ceramiczne i nie zawsze kompletowane są w jednej linii stylistycznej. Pojawia się nowa estetyka, hołubiąca postawie odnajdywania piękna w niedoskonałości. Dla przykładu, żyjący w różnych zakątkach świata, entuzjaści japońskiej sztuki życia *wabi-sabi*, dostrzegają piękno w tym co niedoskonałe i przemijające.



Rys. 6.1 Ceramika stołowa firmy Rosenthal

Źródło: [15]

### 6.3 CERAMIKA INŻYNIERYJNA

Współcześnie pojawiają się coraz rozleglejsze obszary zastosowań ceramiki. Należy zwrócić uwagę na wielokierunkowe działania specjalistów wielu branż, związane z modyfikacją i przystosowaniem do określonych warunków tworzywa ceramicznego, stosowanego w odległych od siebie gałęziach przemysłu.

Ceramika inżynierska, oraz komponenty ceramiczne, znalazły zastosowanie w budownictwie, architekturze, przemyśle aerokosmicznym, motoryzacyjnym i lotniczym, przemyśle elektrycznym, energetyce, przemyśle zbrojeniowym, optyce, akustyce, sporcie i transporcie.

Dzięki obojętnym właściwościom termochemicznym i biotolerancji, ceramika znajduje zastosowanie w protetyce układu kostnego, zachowując cechy wytrzymałościowe w korozyjnym środowisku ludzkiego organizmu. Materiały bioceramiczne mają właściwości sprzyjające i stymulujące formowaniu się kości, co czyni je atrakcyjnymi dla medycyny regeneracyjnej oraz inżynierii tkankowej. Makroporowata bioceramika o porowatości od 74 do 84% została wytworzona metodą odwzorowania porowatej matrycy organicznej, wysokoporowatych tworzyw opartych na ortofosforanach wapnia (CaPs, Calcium Phosphates) [5].

O właściwościach ceramiki decydują silne wiązania chemiczne. Detale wykonane z ceramiki technicznej często stosowane są jako elementy maszyn i urządzeń specjalnych, tam gdzie wymagana jest wyjątkowa odporność mechaniczna, termiczna i chemiczna. Firma *Frialit* jest producentem zaawansowanej ceramiki technicznej. Dostarcza części ceramiczne bezpośrednio do przemysłu i instytutów badawczych, są to zarówno elementy końcowe, jak i składowe urządzeń procesowych. *Frialit* produkuje m.in. izolatory i przepusty do urządzeń elektrycznych, próżniowych i mikrofalowych, rury izolacyjne, wszelkiego rodzaju

osłony i izolatory, z materiałów, które charakteryzują się niską przewodnością cieplną i są odporne na szoki temperaturowe [6]. Wysoka jakość produktów, zarówno ich atrakcyjna forma wizualna, jak i specyficzna charakterystyka komponentu ceramicznego, może być inspiracją dla artysty, nie koniecznie w kontekście celowego zastosowania elementu zaawansowanej ceramiki technicznej (rys. 6.2).



Rys. 6.2 Detale wykonane z ceramiki technicznej firmy *FRIALIT*

Źródło: [16]

Obojętna na erozję i korozję, a także stabilna w wysokiej temperaturze otoczenia, stosowana jest różnego rodzaju filtrach, między innymi w filtrach do wody. Zachowuje niezmienny skład chemiczny, jest odporna na ścieranie. Znajduje zastosowanie w urządzeniach filtrujących, m.in. w spalarniach odpadów, zakładach produkcji tworzyw sztucznych, cementowniach, elektrowniach i elektrociepłowniach, zakładach wytopiania metali itp.

Stosowane w przemyśle zbrojeniowym ceramiczne warstwy antybalistyczne służą do ochrony sprzętu wojskowego i innych obiektów specjalnych przed działaniem czynnika niszczącego. Warstwa ceramiki rozprasza i pochłania energię pocisku, w trakcie jej fragmentacji. Istotną cechą ceramicznych warstw ochronnych jest zmiana toru wnikania pocisku podczas ich przebijania [7]. Przez prawie trzy dekady *high-tech ceramic* odgrywa główną rolę w procesach produkcji biżuterii firmy *Rado* (rys. 6.3). Nowoczesne ceramiczne zegarki są obiektami sztuki i rzemiosła. *Rado* jest pionierem w zakresie zastosowania materiału, który spełnia wszystkie trzy pragnienia: trwałości, piękna i wygody. Ich wyroby są lekkie i hipoalergiczne, niezwykle wygodne i mogą być noszone przez osoby z nadwrażliwością skóry [8].



Rys. 6.3 Zastosowanie ceramiki w jubilerstwie. Zegarki firmy RADO

Źródło: [17]

Biorąc pod uwagę wpływ działalności człowieka na zjawiska klimatyczne i postępujące procesy degradacji stratosfery, ceramika odgrywa ważną rolę w aspekcie zapobiegania globalnym katastrofom i ochronie środowiska, pomaga zredukować zanieczyszczenia, wychwytywać toksyczne pierwiastki i hermetyzować odpady nuklearne” (cyt.) [9]. Przykładem może być technologia MTT (*Microwave Thermal Treatment*), polegająca na unieszkodliwianiu niebezpiecznych odpadów w bardzo wysokich temperaturach, w sprawnych energetycznie reaktorach. Metodę opracowaną przez firmę *ATON HT* cechuje „bezkontaktowe” nagrzewanie skoncentrowaną wiązką energii mikrofalowej do temperatur optymalizujących prawidłowe przeprowadzenie procesu w atmosferze gazowej. Proces przebiega w mikrofalowych urządzeniach wyposażonych w ceramiczne izolatory i przepusty.

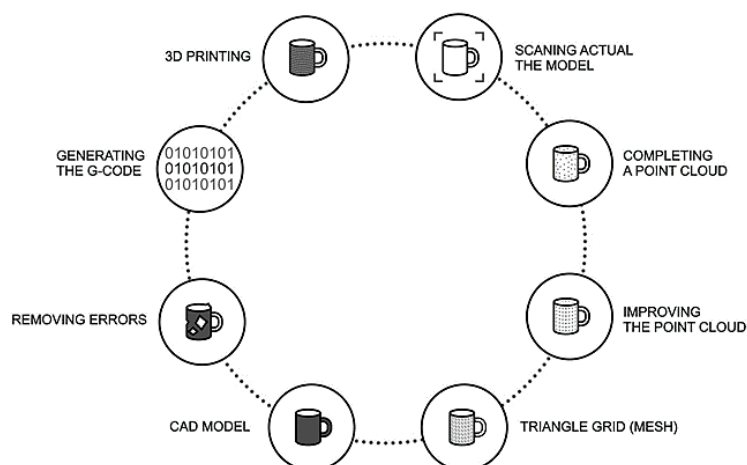
Fascynacja nowoczesnymi narzędziami i technologiami powoduje rozwój nauki, oraz ogromną chęć wdrażania coraz to doskonalszych materiałów i technik produkcji. Istotną sprawą w poszukiwaniach nowatorskich rozwiązań może być korzystanie z narzędzi pozornie mało użytecznych w technikach tradycyjnych. Szczególnie trudna jest implementacja narzędzi cyfrowych, w sytuacjach z ograniczonym dostępem do informacji i wiedzy informatycznej. Niewątpliwie program kształcenia na Wydziale Ceramiki i Szkła, nie obejmuje obszarów wiedzy inżynierskiej i technicznej, poza technologią ceramiki i technikami reprodukcji projektowanych obiektów. Zapoznanie się technikami cyfrowymi wymaga w większości samodzielnej edukacji.

#### 6.4 JAK MIMO TO ZACHĘCIĆ TWÓRCÓW DO KORZYSTANIA Z NARZĘDZI CYFROWYCH ?

Współczesne procesy produkcji ceramiki tradycyjnej, w dużej mierze opierają się na spetryfikowanych technikach produkcji. Bazowymi składnikami mas

ceramicznych nadal są: kaolin, kwarc, skaień. Dodane dodatkowe substancje nieorganiczne mogą jednak wpłynąć na określone metody fabrykacji, zmianę parametrów wytrzymałościowych, czy walory estetyczne wyrobu. Aktualnie, dzięki zastosowaniu dostępnych narzędzi do obróbki cyfrowej, można urzeczywistnić projekty trudne dotąd do zrealizowania. Coraz częściej, chociaż jeszcze zbyt rzadko, narzędziami wykorzystywanymi przez artystów i designerów są: skaner, frezarka CNC, drukarka 3D, *water jet*, laser. Podjęte przeze mnie, w ramach prac badawczych, eksperymenty w Katedrze Ceramiki Akademii Sztuk Pięknych im. E. Gepperta we Wrocławiu dotyczyły opisanie metodologii zastosowania narzędzi cyfrowych.

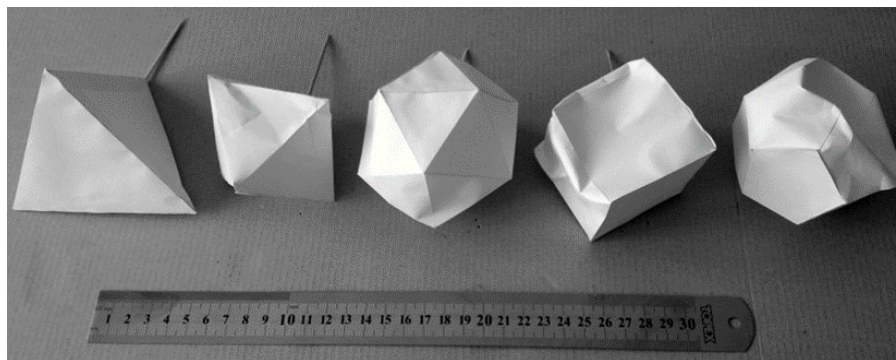
Prace zostały rozpoczęte od sprecyzowania obiektów poddanych procesowi skanowania (rys. 6.4). Podstawowym założeniem było zdigitalizowanie dowolnego obiektu, o bardziej skomplikowanej geometrii, trudnej do odtworzenia w technikach tradycyjnych. Do przeprowadzenia badania użyte zostały modele pięciu brył platońskich (czworościan, sześcián, ośmiościan, dwunastościan, dwudziestościan), poddane losowemu zniekształceniu.



**Rys. 6.4 Schemat procesu skanowania**

Źródło: R. Bonter-Jędrzejewska

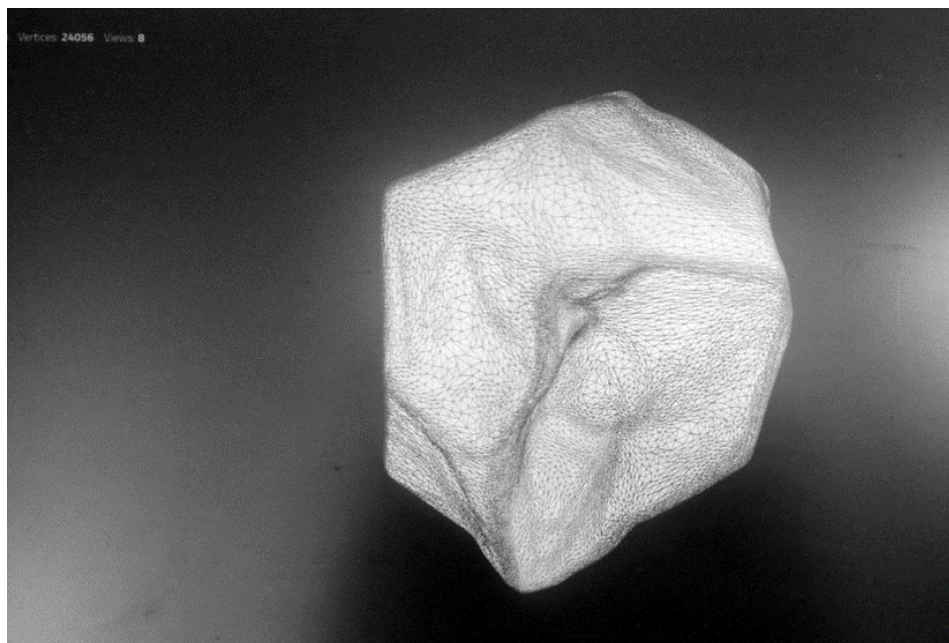
Nadane bryłom cechy indywidualne miały utrudnić odtworzenie nieregularnych płaszczyzn i krawędzi (rys. 6.5).



**Rys. 6.5 Zdeformowane modele pięciu brył platońskich**

Źródło: R. Bonter-Jędrzejewska

Obiekty zostały zeskanowane trzykrotnie, z zastosowaniem urządzeń o różnej rozdzielczości i jakości zapisu danych. Zadanie wykonano zgodnie z etapami przedstawionymi poniżej. Zapis siatki MESH został wyeksportowany do programu generującego kod cyfrowy (rys. 6.6).

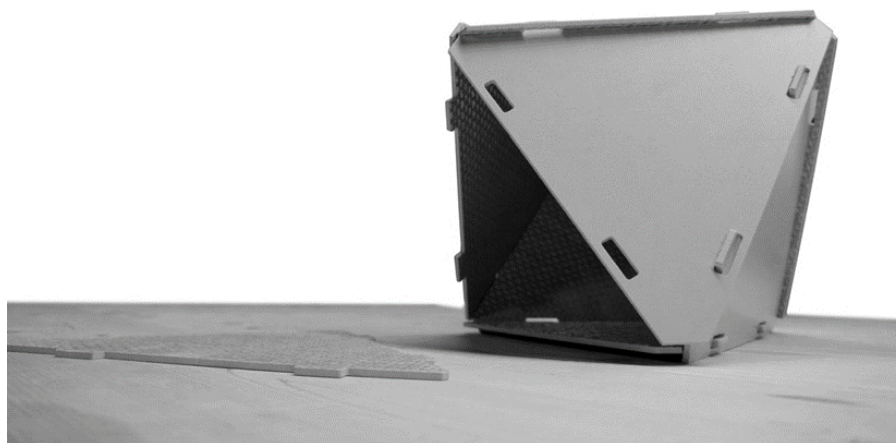


**Rys. 6.6 Zdygitalizowany zniekształcony dwunastościan - siatka MESH**

Źródło: R. Bonter-Jędrzejewska

Na przykładzie skanu zdeformowanej bryły dwunastościanu powstały dwa modele obiektu, z filamentu typu ABS (metodą FDM) i proszku ceramicznego z *polimerem*, utwardzonego odpowiednią substancją spajającą (w technologii SLS). Ponieważ jakość pliku wyjściowego nie była najlepsza, wydruki brył z zastosowaniem dwóch technologii druku, również nie były zadowalające. Otrzymane modele z grubsza odwzorowywały model wzorcowy, nie odtwarzając dokładnie jego detali. Niemniej jednak proces skanowania i odtwarzania obiektu w dowolnej technologii przyrostowej jest początkiem działań jak dotąd niewykorzystywanych w projektowaniu i odtwarzaniu obiektów ceramicznych. Tymczasem zdygitalizowany obiekt, zapisany w postaci pliku cyfrowego, może być dowolnie użyty poprzez modyfikację, skalowanie, multiplikację. Cyfrowy zapis obiektu może być wykorzystany także do odwzorowania obiektu negatywowego, np. przy realizacji negatywowej formy odlewniczej, np. wyfrezowanej za pomocą urządzenia CNC (ang. *Computerized Numerical Control*). Interesującym eksperymentem zrealizowanym w ramach podejmowanych badań, było wykorzystanie technologii cięcia materiału ceramicznego strumieniem wody (ang. *water jet*). Projekt, zrealizowany w 2016 roku, powstał pod wpływem fascynacji spiekami krzemowymi, stosowanymi w architekturze. Wielkoformatowe okładziny ścienne, podłogowe i elewacyjne, wyprodukowane dzięki zaawansowanej technologii zasypu, prasowania i wypiekania proszków

krzemowych, mogą być dowolnie formowane, w płaszczyznach poziomych, pionowych, skośnych, a nawet poddane lekkim ugięciom w trzecim wymiarze. Projekt dotyczył odtworzenia podstawowych wielościanów foremnych (w tym przypadku czworościanu i ośmiościanu foremnego), za pomocą trójkątnych formatek z naciętymi wpustami i wypustami, dającymi możliwość łączenia elementów w bryłę, szybką jej modyfikację i multiplikację. Obiekt – instalacja *Polyhedron – multiplikacja* był prezentowany na wystawie *Młodzi w Muzeum. Najwyższy Poziom.* w Muzeum Narodowym we Wrocławiu, w październiku 2016 (rys. 6.7).



Rys. 6.7 R. Bonter-Jędrzejewska, *Polyhedron – multiplikacja*, 2016

Źródło: R. Bonter-Jędrzejewska

Kolejną zaskakującą inspiracją był znaleziony monolit ceramiczny, stosowany w katalizatorach samochodowych. Zużyte wkłady katalizatorów stanowią wartościowy surowiec wtórny, z którego odzyskuje się cenne pierwiastki szlachetne, takie jak: platyna (Pt), pallad (Pd), rod (Rh). Proces odzyskiwania metali szlachetnych z ceramicznych lub metalowych układów katalizatorów odbywa się przy wykorzystaniu dwóch technologii. Pierwsza polega na wytrawianiu metali z nośników, a następnie wydobyciu ich z roztworu. Przy zastosowaniu drugiej metody prometalurgicznej, układy katalizatora zostają stopione w piecu, z dodatkiem innego metalu, pełniącego funkcję wiążącą. Metale szlachetne pozostają w stopie a nośniki rozdzielone. Po podgrzaniu stopu, następuje oddzielenie odzyskiwanych metali. Obie te technologie cechuje wysoka wydajność, pozwalającą odzyskać 90% Pt i Pd oraz ok. 70% Rh. Niestety jest to proces kosztowny i pochłaniający dużo energii elektrycznej, a w przypadku rafinacji chemicznej uzyskuje się ścieki o dużym stopniu skażenia [10].

Powstała praca miała zwrócić uwagę na istotne problemy zrównoważonej gospodarki odpadami. Pozyskiwanie surowców odbywa się kosztem traczonej energii elektrycznej i powiększających się terenów skażonych toksycznymi odpadami. Instalacja *Monolit*, jawi się jako twór powstały w środowisku naturalnym. Jej kształt formowany jest jednak mechanicznie, poprzez ekstrudowanie materii w specjalnych formach, pod ciśnieniem. Nie jest to więc



proces krystalizacji, czy obróbki skrawaniem. Powstałe obiekty przywołują w pamięci regularne struktury budowane przez owady. Zredukowane w kształtach, poprzez zastosowanie technologii cięcia wodą (*water jet*) oraz obróbkę ręczną, mogą odwzorowywać struktury drzew, skał, piasku. Zużyte monolity ceramiczne mają szansę zaistnieć, ukazując zaskakującą morfologię tworów powstałych w zamkniętych puszkach katalizatorów. Praca prezentowana była na wystawie doktorantów Akademii Sztuk Pięknych im. E. Gepperta we Wrocławiu i Uniwersytetu Artystycznego w Poznaniu, w galerii *Za Szybą*, we Wrocławiu w grudniu 2016 (rys. 6.8).



Rys. 6.8 R. Bonter-Jędrzejewska, *Monolith*, 2016

Źródło: R. Bonter-Jędrzejewska

Niewątpliwie o walorach użytecznych narzędzi cyfrowych w ceramice może świadczyć działanie twórcy w pełni zaangażowanego w tę technologię. Jonathan Keep - artysta ceramik, innowator, stawiał czoła nowym wyzwaniom i poskromił Hydrę stosunkowo szybko, wprowadzając techniki inżynierskie do realizacji artystycznych obiektów. W 2012 roku samodzielnie zbudował pierwszą maszynę drukującą ceramiką (rys. 6.9).

Z pewnością długoletnie doświadczenie i praca w tworzywie ceramicznym, pozwoliły mu w pełni świadomie określić potrzeby i sięgnąć po technologie bardziej zaawansowane. Prace Jonathana Keep'a mają charakter obiektów matematycznych. Artysta prowadzi badania na formach drukowanych w porcelanie, testując sprzęt firmy WASP Massa Lombarda, jednego z największych producentów drukarek do druku 3D ceramiką. Zajmuje się modyfikacją geometrii form w oparciu o zmianę parametrów funkcji. Zmienna funkcji przeistacza obiekt ceramiczny (rys. 6.10). W kolejnych stadiach deformacji można zobaczyć zmianę kształtów, faktur, cieni rozchodzących się po formie [11]. Modyfikuje, zniekształca, multiplikuje.



Rys. 6.9 Jonathan Keep

Źródło: R. Bonter-Jędrzejewska



Rys. 6.10 J. Keep, *Seed Bed*, 2013, drukowana porcelana

Źródło: [18]

Jego zainteresowania kręcą się wokół algorytmów obliczeniowych. To pozwala mu na efektywne badania. Buduje formy należące do jednej rodziny obiektów geometrycznych.

Jonathan Keep prowadził również badania nad zapisem ceramiki w korelacji z dźwiękiem, a dokładniej rytmem i natężeniem dźwięku. Skompilował zapis fal elektromagnetycznych z falami dźwiękowymi. Zmienne parametry wpływają na fakturę naczyń i nieznacznie różnicują ich kształt podstawowy. Eksperymenty prowadzone były w oparciu o utwory Peter'a Rymesa, Steve'a Reicha, Bacha czy Gershwina [12].

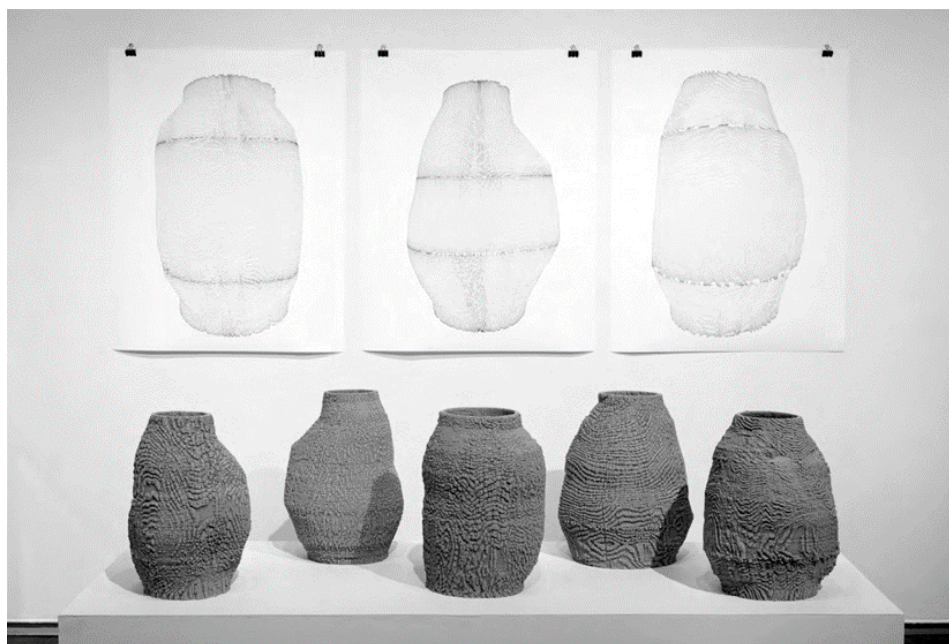
Olivier van Herpt, ceramik z Eindhoven, rozpoczął co prawda prace od zbudowania urządzenia drukującego, jednak w dużym stopniu skupił się na opracowaniu odpowiednich mas ceramicznych, które testował na wybudowanej, również samodzielnie, drukarce (rys. 6.11). Nie jest rzeczą łatwą dobrać odpowiednie komponenty, w szczególności gęstość masy, aby prawidłowo przeprowadzić proces wyprodukowania obiektu ceramicznego. W przypadku druku 3D ceramiką ważne jest właściwe określenie parametrów materiału, aby na każdym etapie wytwarzania obiektu ceramicznego glina zachowywała odpowiednią plastyczność i stabilność w trakcie drukowania, oraz wytrzymałość w trakcie suszenia i wypalania. W momencie ustalenia odpowiednich zależności pomiędzy kształtem obiektu, masą i parametrami wydruku, artysta może przystąpić do prac w pełni kontrolowanych, chociaż czasami obarczonych błędami. Te błędy, czyli tzw. „mory” pojawiające się w trakcie drukowania, Olivier van Herpt potraktował jako atut ceramiki drukowanej.



Rys. 6.11 Olivier van Herpt

Źródło: [19]

Adaptacyjne wytwarzanie, to wspólny projekt Oliviera van Herpta i Sandera Wassinka, który rozpoczął się w 2014 roku (rys. 6.12). Istotną częścią ich koncepcji było podkreślenie procesu produkcyjnego, a punktem wyjścia projektu było zmierzenie się z problemem dotyczącym sposobu, w jaki produkcja przemysłowa zastąpiła działalność wytwórcy, a tym samym usunęła wszelkie ślady wpływu człowieka i miejsca na produkt.



Rys. 6.12 O. van Herpt, A. Wassink, *Adaptive Manufacturing*, 2014, ceramika drukowana  
Źródło: [20]

Fundamentem każdego wytwarzanego produktu jest proces produkcji. Zastąpienie rzemieślników maszynami spowodowało odebranie znaczenia lokalnej społeczności i jej wpływu na charakter wyrobu. Wobec tak określonego problemu projektanci postawili sobie pytanie: *Co zrobić aby maszyna była bardziej zmysłowa? Co by było gdyby mogła rozpoznać otaczające środowisko i włączyć je do procesu produkcyjnego?*

Badania te, miały na celu odzyskanie utraconego związku rzemieślnika z produkcją przedmiotów. Projektanci zdecydowali się zaprojektować pewien scenariusz. Zaprogramowane urządzenie abstrahuje kształty i tekstury z otoczenia. Informacje zewnętrzne są mierzone za pomocą czujników, co ostatecznie poprzez napisane oprogramowanie, przekłada się na szczególne zachowania drukarki. Można by nazwać ją maszyną sensoryczną, która odbiera dane z otoczenia, przekształcając dane wejściowe na dokument, o określonym czasie, miejscu lub surowcu. Jednakże maszyna ta nie działa autonomicznie. W istocie rolą projektantów był wybór i transponowanie tylko pewnych fragmentów z danych w otaczającym nas środowisku [13].

Ekspertyzy podejmowane przez artystów, w różnych krajach i na różnych kontynentach, świadczą o ogromnej potrzebie wzbogacenia zakresu działań w obszarze kreacji tworzywem ceramicznym. Współcześnie nie wystarczy umiejętność modelowania ręcznego, czy toczenia na kole garncarskim. Poszukiwane są nowe formy plastyczne, zaskakujące w swojej strukturze i fakturze, kształtowane na poziomie wirtualnym i rzeczywistym. Już teraz ceramikę można traktować, jako równorzędne, np. z zapisem video, fotografią, malarstwem, medium wizualizujące procesy, zjawiska, pragnienia i emocje.

Ceramiczne obiekty drukowane charakteryzują się często zaskakującą morfologią kształtów zarejestrowaną już na poziomie konstruowania modelu wirtualnego.

Powstające w technologii przyrostowej obiekty wyróżniają się niepowtarzalną estetyką, finezyjną fakturą, która jest równie atrakcyjna na zewnątrz, jak i wewnątrz. Projekt *G-code* został zaprezentowany na wystawie *Pattern Predictability Repetition 2214*, 17.02-27.05.16 w Berkeley, przez grupę artystów, Benjamin Crittona, Petera Harkawika, Emmę Spertus i dotyczył wprowadzenia specyficznego zapisu cyfrowego powierzchni prostych brył obrotowych, w celu uzyskania ciekawego efektu „dzianych” form ceramicznych (rys. 6.13). Zróżnicowane faktury uzyskano poprzez modyfikację kodu cyfrowego i wykorzystania siły grawitacyjnej [14]. Tego typu podejmowane działania doprowadziły firmę *Emerging Objects* (z USA) do uruchomienia programu – *BOTTERY*, który dotyczy stworzenia ośrodka popularyzacji technologii druku 3D oraz opracowywania i produkcji drukowanych modułów, w przyszłości wykorzystywanych w architekturze.



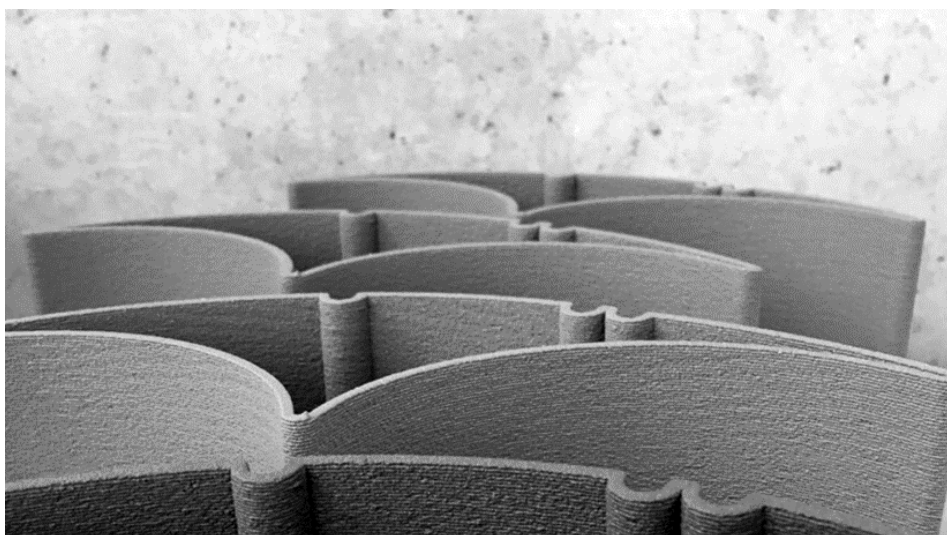
**Rys. 6.13 Projekt *G-code*, prezentowany na wystawie *Pattern Predictability Repetition 2214*, 17.02-27.05.16, Berkeley**

Źródło: R. Bonter-Jędrzejewska

Wszystkie przytoczone powyżej przykłady zdeterminowały rodzaj badań podejmowanych obecnie w Katedrze Ceramiki Akademii Sztuk Pięknych im Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu. W czerwcu 2017 r. na wydziale została zakupiona drukarka 3D do druku gliną i rozpoczęto działania nad wykorzystaniem technologii cyfrowej w procesach projektowania ceramiki i szkła. Należy jednak zauważyć, że prowadzenie prac z wykorzystaniem którejkolwiek zaawansowanej technologii, wymaga dobrej znajomości programów CAD i CAM. Od lat studenci wydziałów projektowych uczestniczą obligatoryjnie w zajęciach pod hasłem *Komputerowe wspomaganie projektowania*. Jest jednak jeszcze spora różnica w umiejętnościach studentów Wydziału Architektury Wnętrz i Wzornictwa i Wydziału Ceramiki i Szkła. Stosowane dotąd

tradycyjne metody wyrobu ceramiki, metoda odlewnicza, toczenie na kole garncarskim, czy modelowanie ręczne, z powodzeniem wystarczały do realizacji projektów realizowanych w Pracowniach Ceramiki Artystycznej i Projektowania Ceramiki Użytkowej.

Implementacja nowych technologii przysparza więcej problemów, które w efektywny sposób należy rozwiązać. Zapoznanie się z funkcjonowaniem udostępnionych narzędzi, to początek drogi do sukcesu. W trakcie prac pojawiają się liczne niedogodności, związane z brakiem doświadczenia. Pojawia się konieczność wykonywania ciągłych prób, przynoszących lepsze lub gorsze rezultaty. W przypadku wdrożenia druku 3D ceramiką, trudność może polegać na braku paralelnych urządzeń do wytwarzania ceramiki i braku odpowiednich opracowań, np. dotyczących przygotowywania masy ceramicznej do tego typu urządzeń. Pozostaje więc podjęcie własnych badań i eksperymentów, w zakresie przygotowania właściwej gliny, znalezienia odpowiednich parametrów drukowania, oraz poznania zależności pomiędzy tymi parametrami (rys. 6.14).

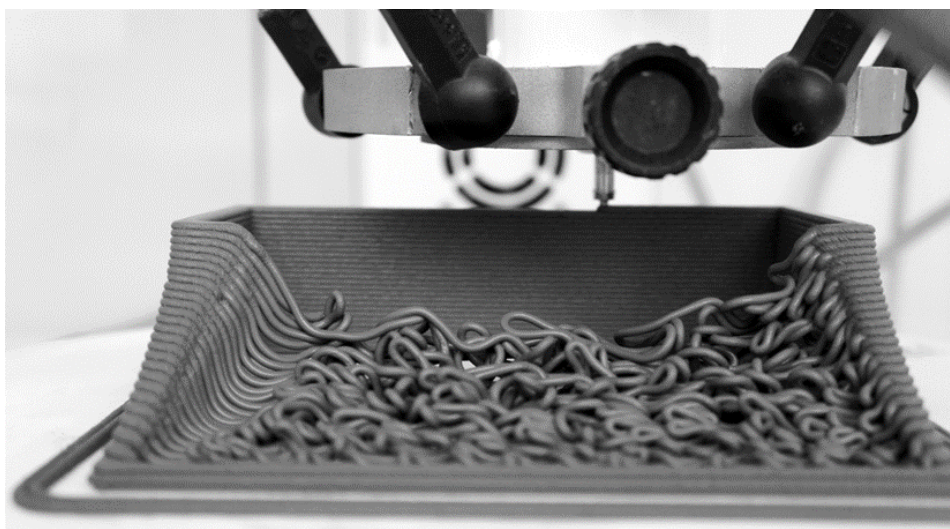


**Rys. 6.14 R. Bonter-Jędrzejewska, *Monoliths*, 2018, ceramika drukowana**

Źródło: R. Bonter-Jędrzejewska

Właściwe funkcjonowanie urządzenia uwarunkowane jest następującymi wskaźnikami: średnicą dyszy, wysokością warstwy drukowanej, szerokością ścieżki warstwy drukowanej, ilością ścieżek warstwy drukowanej, prędkością podawania gliny (prędkością obrotu silnika), prędkością pracy głowicy, ciśnieniem na kompresorze, ciśnieniem na urządzeniu.

W przeprowadzonych dotąd badaniach określona została receptura masy ceramicznej, z której wydrukowane zostały pionowe formy, o max. wysokości 38 cm. Charakterystyka masy ceramicznej, poprzez jej skład, pozwala na drukowanie wertykalnych obiektów o dość złożonej geometrii i fakturze. W realizowanych próbach wykorzystano grawitację, jako dodatkowy, randomiczny efekt wizualny (rys. 6.15).



Rys. 6.15 R. Bonter-Jędrzejewska, *Monoliths*, 2018, ceramika drukowana

## 6.5 ZAKOŃCZENIE

W Akademii Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu istnieje jedyny w Polsce Wydział Ceramiki i Szkła. W ramach dwustopniowych studiów, na poziomie licencjatu przez 3 lata i na poziomie studiów magisterskich przez 2 lata, studenci zdobywają wiedzę i umiejętności w zakresie projektowania ceramiki artystycznej i projektowania ceramiki użytkowej. Obecnie ważne jest skonfrontowanie potrzeb i oczekiwań, zarówno zakładów produkcyjnych, jak i ośrodków edukacyjnych. Z obu stron powinny pojawić się możliwości wzajemnego wspierania się i rozwiązywania istotnych problemów dla zrównoważenia dwóch, pozornie wykluczających się imperatywów, czynnika ekonomicznego i determinacji samego artysty czy projektanta. Pojawiające się nowe możliwości technologiczne w znaczący sposób mogą pogodzić te dwa często wykluczające się atuty. Korzystanie z takich samych narzędzi możliwe jest jednak tylko wtedy, gdy przekaz definiowany jest w tym samym systemie komunikacji. Niewątpliwie w niedalekiej przyszłości język cyfrowy prawie całkowicie wyprze przekaz analogowy. I właśnie świadomość rychłego nadejścia nowego, powinna być argumentem przekonującym współczesnych twórców do stopniowego wdrażania się w technologie zaawansowane.

## LITERATURA

1. Z.H. De Morant, *Historia sztuki zdobniczej od pradziejów do współczesności*, Wyd. Arkady, Warszawa 1983, ISBN 83-213-2966-7
2. M. Piątkiewicz-Dereniowa, *Artystyczna ceramika artystyczna w zbiorach polskich.*, Wydawnictwa Artystyczne i Filmowe, Warszawa 1991, ISBN 83-221-0568-1, str.14-15
3. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Ceramika>
4. <http://ceramics.org/learn-about-ceramics/history-of-ceramics>
5. <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.baztech-article-BPL8-0021-0048>
6. <https://docplayer.pl/4145387-Frialit-degussit-ceramika-tlenkowa-materialy-zastosowanie-i-wlasciwosci.html>

7. <http://www.pg.gda.pl/mech/kim/ziel/1%20Spieki%20ceramika.pdf>
8. <https://www.rado.com/about/materials?lang=en>
9. <https://docplayer.pl/5688328-Metoda-modelowania-zjawisk-termosprezystych-w-warstwowych-powlokach-ceramicznych-rozprawa-doktorska-mgr-inz-damian-derlukiewicz.html>
10. <https://www.elektroda.pl/rtvforum/topic510599.htm>
11. [http://www.keep-art.co.uk/digital\\_harmonics.html](http://www.keep-art.co.uk/digital_harmonics.html)
12. [http://www.keep-art.co.uk/digital\\_sound.html](http://www.keep-art.co.uk/digital_sound.html)
13. <http://oliviervanherpt.com/adaptive-manufacturing/>
14. <http://sfaq.us/2016/05/pattern-predictability-repetition-at-2214/>
15. <https://i.imgur.com/serwis-kawa-obiad-rosenthal-biala-maria-12-osob.jpg>
16. <https://docplayer.pl/4145387-Frialit-degussit-ceramika-tlenkowa-materialy-zastosowanie-i-wlasciwosci.html>
17. <https://www.rado.com/about/materials?lang=en>
18. [www.oliviervanherpt.com](http://www.oliviervanherpt.com)
19. [www.oliviervanherpt.com](http://www.oliviervanherpt.com)
20. [www.emergingobjects.com/project/gcode-clay/](http://www.emergingobjects.com/project/gcode-clay/)

*Data przesłania artykułu do Redakcji: 08.2018*

*Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 10.2018*



**NOWY WYMIAR CERAMIKI.  
NARZĘDZIA CYFROWE W PROCESACH KSZTAŁTOWANIA  
OBIEKTÓW CERAMICZNYCH – DRUK 3D**

**Streszczenie:** Ceramika, niemal od zawsze, odgrywała ważną rolę w życiu człowieka. W ostatnich kilkudziesięciu latach stała się znakomitym materiałem podnoszącym walory surowców i materiałów wykorzystywanych w odległych od siebie przemysłach. Poza liczną grupą tworzyw ceramicznych, stosowanych w ceramice artystycznej, pojawiają się coraz to nowsze materiały, o podwyższonych parametrach wytrzymałościowych, stosowane w ceramice inżynieryjnej. Przestaje już dziwić informacja o zastosowaniu powłok ceramicznych w turbinach silników, czy noszonych wyrobach tekstylnych. Nie byłaby możliwa tak wielka ekspansja ceramiki, gdyby nie pojawiały się nowoczesne, nowatorskie technologie. Istotą postępu jest zmiana myślenia o tworzywie i jego zastosowaniu. Nad tymi problemami skupiają się współcześni badacze, naukowcy, artyści, projektanci. Niewątpliwie, w niedalekiej przyszłości, język cyfrowy prawie całkowicie wyprze przekaz analogowy. I właśnie świadomość rychłego nadejścia nowego powinna być argumentem przekonującym współczesnych twórców do stopniowego wdrażania się w technologie zaawansowane.

**Słowa kluczowe:** ceramika tradycyjna, ceramika inżynieryjna, techniki ceramiczne, ceramika drukowana 3D, narzędzia cyfrowe

**A NEW DIMENSION OF CERAMICS.  
DIGITAL TOOLS IN THE PROCESSES OF SHAPING CERAMICS  
ITEMS – 3D PRINTING**

**Abstract:** Ceramics has always played an important role in human life. In the last several dozen years it has become an excellent material raising the value of raw materials and materials used in distant industries. Aside from a numerous group of ceramic materials used in artistic ceramics, newer materials appear, with improved strength parameters, used in engineering ceramics. The information about the use of ceramic coatings in turbine engines or worn textile products is no longer surprising. Such a large expansion of ceramics would not have been possible if modern, innovative technologies had not appeared. The essence of progress is the change in thinking about creation and its application. Contemporary researchers, scientists, artists, and designers focus on these problems. Undoubtedly, in the near future, the digital language will almost completely supplant the analogue transmission. And the awareness of the imminent arrival of something new should be an argument that convinces contemporary artists to gradually introduce themselves in advanced technology.

**Key words:** traditional ceramics, engineering ceramics, ceramic techniques, 3D printed ceramics, digital tools

**mgr Renata Bonter-Jędrzejewska**

Akademia Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu  
Wydział Ceramiki i Szkła, Katedra Ceramiki  
Plac Polski  $\frac{3}{4}$ , 50-156 Wrocław, Polska  
e-mail: r.bonterjedrzejewska@asp.wroc.pl