

Akademia Sztuk Pięknych w Gdańsku  
Wydział Rzeźby i Intermediów

PAWEŁ DUDKO

## **„Oblicza koła”**

**Druk przestrzenny jako medium.**

**Znaczenie utworu artystycznego w aspekcie wirtualnym i rzeczywistym**

Część opisowa rozprawy doktorskiej w dziedzinie sztuk plastycznych  
w dyscyplinie sztuki piękne

Promotor: dr hab. Jarosław Perszko, prof. PB

Promotor pomocniczy: dr Jarosław Czarnecki

Białystok 2018

# Spis treści

Wstęp.....	2
1. Druk przestrzenny – nowa technologia?.....	4
1.1. Prehistoria technologii przyrostowych .....	4
1.2. Początki technologii addytywnych i druku 3D.....	6
1.3. Upowszechnienie technologii przyrostowych – projekt RepRap .....	8
1.4. Współczesne zastosowania technologii addytywnych.....	9
2. Technologia FDM jako metoda twórcza.....	11
2.1. Wykorzystanie technologii przyrostowych w sztukach wizualnych.....	11
2.2. Pomiędzy technologicznymi ujęciami sztuki a artystycznym oswojeniem technologii. Archeologia medialności własnej pracy twórczej .....	20
2.3. Technologia FDM w pracy artystycznej w latach 2014–2017 .....	23
Owoce oświecenia (2014).....	24
Populacje (2016) .....	26
(Nie)zbędne (2016) .....	27
Dźwięk obrazu   Obraz dźwięku (2017) .....	28
Aliaż (2017) .....	29
3. Aspekt realny i wirtualny w procesie realizacji z wykorzystaniem technologii przyrostowych .....	30
4. „Oblicza koła”. Opis części artystycznej rozprawy doktorskiej.....	34
„Zbiór 0.” .....	41
„Zbiór 1.” .....	44
„Zbiór 2.” .....	46
Podsumowanie.....	48
Spis ilustracji.....	50
Bibliografia .....	52

# Wstęp

Druk przestrzenny, druk trójwymiarowy, szybkie prototypowanie (ang. rapid prototyping) czy technologie addytywne – każde z wymienionych określeń używane jest do nazwania procesu powstawania fizycznego obiektu poprzez dodawanie materiału w wyniku pracy urządzenia sterowanego komputerowo. Funkcjonuje on w wielu wariantach, z wykorzystaniem różnych materiałów, od najpopularniejszych tworzyw sztucznych poczynając, przez zaawansowane technicznie maszyny spiekające metale, a kończąc na masach ceramicznych, czy nawet produktach spożywczych, jak cukier, czekolada czy, w co trudno uwierzyć, ciasto naleśnikowe. Pomimo tak dużej różnorodności łączy je z sobą wiele cech powiązanych z przestrzenią wirtualną.

Do czasu upowszechnienia się technologii druku trójwymiarowego, który stopniowo przenika(ł) ze świata przemysłu i sztuk użytkowych do kategorii działań artystycznych, druk cyfrowy w powszechnej opinii oznaczał wierne przeniesienie wirtualnego obrazu na papier. Tekst, rysunek czy fotografia pozwoliły urzeczywistnić się, a do tego reprodukowac w nieznanym dotąd innym mediom tempie i ilości. Paradoksalnie ten sam cel stawia sobie sztuka w rękach człowieka od najwcześniejszych jej przejawów – ucieleśnić *virtualis*. Sięgając do łaciny średniowiecznej, pozwalającej zdekonstruować dzisiejsze zastosowania pojęcia wirtualności, dowiemy się, że ówczesny sens tegoż przymiotnika oznacza tyle, co we współczesnym języku „potencjalny”, a więc niosący możliwość zrealizowania jakiegoś działania<sup>1</sup>. Niemal wszystkie definicje słownikowe zawierają dziś w sobie dodatkowy element, mówiący o tym, że „wirtualny” to także „pozorny”, „stworzony w ludzkim umyśle, ale teoretycznie możliwy”. Oba czynniki ustanawiają źródło wirtualności w wyobrażeniu, którego macierzą jest ludzki umysł. Adam Pawłowski analizując współczesne znaczenie wirtualizacji pisze:

Wirtualność w sensie współczesnym nie ma więc cechy potencjalności, obecnej w dawnych definicjach, nie jest też naukową idealizacją procesu lub wielkości fizycznej. Pod względem funkcjonalnym i użytkowym to, co wirtualne, istnieje i działa najzupełniej realnie, podlega ocenie, musi respektować normy prawne i społeczne,

---

<sup>1</sup> A. Pawłowski, *Wirtualizacja – historia i próba rekonstrukcji pojęcia*, w: *Wirtualizacja. Problemy, wyzwania, skutki*, red. Lech W. Zacher, Warszawa 2013, s. 12-13.

brak mu jedynie pierwotnego fizycznego lub biologicznego nośnika. Wirtualność oznacza zatem cyfrowy charakter reprezentacji dowolnego obiektu lub procesu, zwykle połączony z jego obecnością w cyberprzestrzeni.<sup>2</sup>

Niniejsza praca jest propozycją zbadania relacji pomiędzy *virtualis* a *phisis* obiektu powstającego w procesie druku 3D w różnych ujęciach: historycznym, metodologicznym, historyczno-artystycznym, w końcu w oparciu o własne doświadczenie w pracy artystycznej.

W pierwszym i drugim rozdziale rozprawy pragnę nakreślić historyczne zaplecze technologii addytywnych oraz ich umiejscowienie w początkach pracy artystycznej twórców międzynarodowych. Kryterium, jakie obrałem przy doborze artystów, wiąże się z ich szczególnym przywiązaniem do wiernego odwzorowywania obiektu z jego pierwowzorem, kojarzącym się z archetypem klasycznej zasady *mimesis*. Drugim istotnym powodem ich przywołania jest przenikanie się i wzajemny wpływ płaszczyzny cyfrowej, zarezerwowanej dla projektu, oraz fizycznej, czyli stanowiącej o ostatecznym odbiorze prac. Służy ono pogłębieniu analizy zastosowanej technologii jako procesu twórczego, wpływającego znacząco na aspekt formalny. Jednakże na tym poziomie, w moim przekonaniu, cytowane prace nie wyczerpują potencjału artystycznego, który niosą z sobą technologie addytywne.

Druga część niniejszej pracy jest próbą zarysowania nowego, moim zdaniem niewyczerpanego w literaturze przedmiotu, sposobu myślenia o druku 3D jako metodzie twórczej. W rozdziale trzecim, w oparciu o metodę analizy struktury dzieła Rudolfa Arnheima oraz Wassilija Kandinsky'ego, proponuję nowe spojrzenie na relację między *virtualis* modelu cyfrowego a jego fizyczną reprezentacją. Na poziomie filozoficzno-estetycznym, głównym problemem, który wydaje mi się nieustannie powracać i nadaje ton niniejszemu badaniu jest platońska relacja pomiędzy światem idei a jego odbiciem w świecie rzeczy. Relacja, która stawia szereg pytań o naturę obiektu wywodzącego się ze środowiska komputerowego, przechodzącego przez zautomatyzowany proces, aż po finalny byt, którego tożsamość dowodzi utopijności zero-jedynkowych technologicznych założeń.

Zrealizowany przeze mnie projekt: *Oblicza koła*, który staje się przedmiotem opisu i analizy rozdziału trzeciego, jest moją próbą zbadania druku przestrzennego jako medium

---

<sup>2</sup> tamże.

artystycznego, w oparciu dialog wirtualności z rzeczywistością. Odrzucając imperatyw zasady *mimesis* przyjąłem wszystkie elementy towarzyszące procesowi powstawania obiektów, takie jak przypadek czy błąd, jako równoprawne czynniki sprawcze artystycznego procederu. Tym samym, powstałe obiekty stają się pretekstem do wysnucia konkluzji, że pozornie automatycznemu i bezdusznemu procesowi urzeczywistniania cyfrowego modelu przy wykorzystaniu technologii FDM, można przypisać wartości artystyczne.

## 1. Druk przestrzenny – nowa technologia?

W drugiej dekadzie XXI w. technologie przyrostowe nie są już niczym nowym w kulturze masowej. Okres powszechnej sensacji i gigantycznej fascynacji mają za sobą. Informacje o nowych odkryciach i pracach rozwojowych na tym polu nie zdołają już nagłówek gazet, a pojawiają się raczej w obiegu kierowanym do pasjonatów i profesjonalistów. Oficjalny początek technologii przyrostowych określa się na połowę lat 80. XX w., kiedy to Charles Hull zarejestrował swój patent i założył pierwszą komercyjną firmę produkującą maszyny operujące w technologii SLA, 3D Systems. Jednakże historia samej idei sięga dużo wcześniej.

### 1.1. Prehistoria technologii przyrostowych

Już w XIX w. pojawiały się technologie, których koncepcje mogły dać podstawy rozwojowi technologii przyrostowych. Źródła często przywołują patent Josepha E. Blanthera z 1890 r. dotyczący budowy modeli topograficznych (il. 1).<sup>3</sup> Idea opierała się na odciskaniu konturów na cienkich, woskowych tablicach, które następnie były odpowiednio docinane i spajane, tworząc przestrzenną bryłę. Po wygładzeniu powierzchni można było uzyskać formę pozytywową i negatywową, służącą reliefowemu formowaniu arkuszy papieru.<sup>4</sup> Uwagę zwraca idea warstwowości, która w XXI w. wydaje się powszechna, zwłaszcza w kontekście przestrzennego przedstawienia zróżnicowania terenu. Jednakże to właśnie ta forma analizy i podziału bryły na cienkie warstwy w bezpośredni sposób łączy się z technologiami przyrostowymi, których większość jest oparta o ideę przekroju. Szczególną wartość i niosące za sobą implikacje warstwowego podziału bryły można zauważyć w przypadku prac inspirowanych naturą procesu addytywnego, zwłaszcza w technologiach FDM. Linearny

---

<sup>3</sup> J. J. Beaman, *Historical Perspective*, w: JTEC/WTEC Panel Report on Rapid Prototyping in Europe and Japan, Volume I. Analytical Chapters, 1997; <http://www.wtec.org/loyola/rp/toc.htm>, dostęp: 2017.10.30.

<sup>4</sup> J. E. Blanther, *Manufacture of Contour Relief Maps*, Patent USA nr 473 901, 1892, <http://pdfpiw.uspto.gov/.piw?PageNum=0&docid=00473901>, dostęp: 2017.10.30.

charakter modelowania bryły i skojarzenie z ręką rysownika, poruszającą się w przestrzeni, a nie na płaszczyźnie, stają się unikatowymi wyznacznikami procesu i stanowią o charakterze dzieła.

Idea wytwarzania wiernych przestrzennych kopii naturalnych obiektów pojawiła się już 30 lat przed patentem Blathera. W II połowie XIX wieku François Willème, francuski artysta, opracował proces tworzenia „fotorzeźby” (il. 2). Polegał on na fotografowaniu obiektu przez 24 aparaty rozmieszczone regularnie na obwodzie okrągłego pomieszczenia. Następnie sylweta zarejestrowana przez każdą z kamer była przenoszona z pomocą pantografu na wycinek 1/24 walca i odpowiednio rzeźbiona.<sup>5</sup>

Na początku XX w. technika Willèma została rozwinięta przez Carlo Baese'a, który wykorzystał światłoczułą żelatynę. Podczas przeprowadzanych przez niego eksperymentów żelatyna, wystawiona na działanie wody, rozszerzała się w zależności od stopnia naświetlenia. Tak uzyskane profile mogły zostać umieszczone na rusztowaniu, co w efekcie dawało replikę fotografowanego obiektu.<sup>6</sup> Japoński wynalazca, Isao Morioka, rozwinął metodę w pierwszej połowie XX w. przez stosowanie do oświetlania modelu wąskich linii światła, które pozwalały na bardzo dokładną rejestrację sylwety. Otrzymane obrysy mogły być następnie przenoszone na arkusze i sklejane albo wyświetlane na materiale, aby poddać go procesowi rzeźbienia.<sup>7</sup> Ta ostatnia technika, udoskonalona i rozwinięta przez cyfrową analizę, jest aktualnie wykorzystywana w niektórych konstrukcjach skanerów przestrzennych. Wykorzystuje się w nich liniową wiązkę lasera, rejestrowaną przez kamery. Pozyskany materiał jest poddawany analizie i ostatecznie przekształcany na wirtualny model trójwymiarowy.

W każdym z powyższych przykładów technik, które pojawiły się przed koncepcjami szybkiego prototypowania, rzeczywisty obiekt był rejestrowany w sposób redukujący go do układu warstw lub profili o określonej grubości. Pomimo upływu wielu lat od pojawienia się pierwszych idei, warstwowość jest wciąż głównym wyznacznikiem technologii przyrostowych.

---

<sup>5</sup> D. L. Bourell, J. J. Beaman, M.C. Leu, D.W. Rosen, *A Brief History of Additive Manufacturing and the 2009 Roadmap for Additive Manufacturing: Looking Back and Looking Ahead*, Proceedings of RapidTech 2009: US-TURKEY Workshop on RapidTechnologies, Istanbul 2009, <http://rktngstcc.easycgi.com/haber/2009/rapidtech-workshop/presentations/Presentation02.pdf>, dostęp: 2017.10.27.

<sup>6</sup> C. Baese, *Photographic process for reproduction of plastic objects*, Patent USA nr 774 549, 1904, <http://pdfpiw.uspto.gov/.piw?PageNum=0&docid=00774549>, dostęp: 2017.10.30.

<sup>7</sup> D. L. Bourell i in., dz. cyt.

## 1.2. Początki technologii addytywnych i druku 3D

Za początek technologii addytywnych przyjmuje się dzień 8 sierpnia 1984 roku, kiedy Charles Hull złożył wniosek patentowy dotyczący procesu stereolitograficznego. Jednakże pierwsze, nieskomercjalizowane idee i patenty pojawiły się już ponad 30 lat wcześniej.

Technologię bardzo zbliżoną do koncepcji Hulla przedstawił w 1951 r. Otto John Munz. Opatentował on warstwowe naświetlanie emulsji światłoczułej i utrwalanie jej na zanurzającej się w roztworze platformie. Tak otrzymany cylinder, zawierający we wnętrzu przestrzenny obraz, mógł być rzeźbiony albo chemicznie trawiony, aby wydobyć trójwymiarowy obiekt (il. 3).<sup>8</sup>

Inne podejście zaprezentował w 1968 r. Wyn K. Swainson. Jego idea, polegająca na polimeryzacji światłoczułego związku chemicznego na przecięciu dwóch wiązek lasera (il. 4), doczekała się stworzenia działającej aparatury laboratoryjnej, jednak nie została nigdy skomercjalizowana i wdrożona do szerszej produkcji.<sup>9</sup> Trzy lata później (1971 r.) swój patent złożył Pierre A. L. Ciraud. Opis technologii nie był precyzyjny. Opierał się jedynie na założeniu, że stopniowo nakładany proszkowy materiał będzie utrwalany przy pomocy strumienia energii. Dzięki podgrzewaniu cząsteczki miały się zespalać i wiązać z niższymi warstwami (il. 5).<sup>10</sup>

Kolejne prace, m.in. Rossa F. Housholdera (wniosek patentowy złożony 3 grudnia 1979 r.), Hideo Kodamy (1981 r.) i Alana J. Herberta (model wyprodukowany w 1979 r.) opierały się na utwardzaniu płynnego materiału światłem (UV) albo na spajaniu proszków. Pierwszy sposób został z sukcesem wdrożony i skomercjalizowany przez Charlesa Hulla, założyciela 3D Systems, uważanego za ojca szybkiego prototypowania – stereolitografii (SLA).<sup>11</sup> Główną ideą przyświecającą wynalazcy było obniżenie ceny i skrócenie procesu weryfikacji prototypów. Przed wprowadzeniem technologii przyrostowych nowy projekt musiał być zrealizowany

---

<sup>8</sup> O. J. Munz, *Photo-glyph recording*, Patent USA nr 2 775 758, 1956, <http://pdfpiw.uspto.gov/.piw?PageNum=0&docid=02775758>, dostęp: 2017.10.30.

<sup>9</sup> D. L. Bourell i in., dz. cyt.

<sup>10</sup> tamże.

<sup>11</sup> S. Gibbs, *Chuck Hull: the father of 3D printing who shaped technology*, The Guardian, <https://www.theguardian.com/business/2014/jun/22/chuck-hull-father-3d-printing-shaped-technology>, dostęp: 2017.10.21.

na docelowych maszynach do formowania wtryskowego, co pociągało za sobą czas i koszty przygotowania odpowiednich form i transportu. Stąd też pierwsze technologie druku przestrzennego były przeznaczone głównie do zastosowań przemysłowych, a same urządzenia rozprowadzano poprzez sieć sprzedaży do konkretnych odbiorców, w większości do firm i ośrodków przemysłowych. Takie zaadresowanie produktu powodowało, że urządzenia charakteryzowały się dużą precyzją wytworzonego obiektu, co jednak wiązało się z wysoką ceną zakupu i eksploatacji oraz skutecznie blokowało rozwój na rynku konsumenckim.

Drugi sposób, pod nazwą selektywnego spiekania laserem (ang. Selective Laser Sintering, SLS), opatentował i wdrożył Carl Deckard, założyciel firmy DTM. Idea stojąca za tą technologią, bazująca na łączeniu kolejnych warstw nanoszonego proszku, została później rozwinięta w SLM (ang. Selective Laser Melting), gdzie zamiast tworzyw sztucznych wykorzystuje się proszki metali. Zbliżonymi technologiami addytywnymi, wykorzystującymi metale, są także DMLS (ang. Direct Metal Laser Sintering) czy EBM (ang. Electron Beam Melting/Electron Beam Melting).

Badania nad technologiami przyrostowymi przebiegały wielotorowo, a autorskie rozwiązania powstawały dynamicznie, różnicując technologię, dokładność, jak również sam materiał bazowy. Wobec nakreślenia historii krystalizowania się metod addytywnych, należy wyjaśnić pochodzenie samego pojęcia „druku 3D”, który wpłynął na popularność tej dziedziny i przedostanie się informacji do głównego nurtu.<sup>12</sup>

Sam termin przypisywany jest Emanuelowi M. Sachsowi, naukowcowi z Massachusetts Institute of Technology (MIT), który wraz z zespołem (John S. Haggerty, Michael J. Cima i Paul A. Williams) pracował nad technologią przyrostową. W tym przypadku napyłany warstwowo proszek był spajany selektywnie nanoszonym lepiszczem. Z powodu wykorzystywania głowic drukarek atramentowych w początkach pracy zespołu, analogia do „druku” nasuwała się sama. Dzięki temu określeniu, bliskiemu wyobraźni wielu ludzi, techniki przyrostowe zaczęły przenikać do kultury popularnej. Jednakże prawdziwa rewolucja i popularność miały dopiero nadejść.

---

<sup>12</sup> P. Ślusarczyk, *HISTORIA DRUKU 3D - CZĘŚĆ 1: jak stary jest druk 3D, kto naprawdę jest jego twórcą oraz kto wymyślił jego nazwę?*, <http://centrumdruku3d.pl/historia-druku-3d/>, dostęp: 2017.10.21.



### 1.3. Upowszechnienie technologii przyrostowych – projekt RepRap

Rewolucja, która pociągnęła za sobą falę popularności, nadeszła dopiero na początku XXI wieku, czyli ponad 30 lat po pojawieniu się pierwszych komercyjnych rozwiązań wykorzystujących technologie addytywne. Wtedy to dr Adrian Bowyer, wykładowca na Uniwersytecie w Bath w Wielkiej Brytanii, rozpoczął pracę nad pierwszym otwartym systemem, który można było zbudować z części dostępnych niemal w każdym kraju. 2 lutego 2004 roku powstał koncept „Replicating Rapid PrototyperReplicatingRapidPrototyper”, który w skrócie nazwano RepRap. Dwa lata później, we wrześniu 2006 r., powstał pierwszy prototyp urządzenia – RepRap 0.2, a już na początku 2008 roku wersja RepRap 1.0 o nazwie „Darwin” wydrukowała ponad połowę części, z których była zbudowana. Była to prosta, sześcienne konstrukcja z prętów połączonych elementami wytworzonymi na przemysłowych urządzeniach przyrostowych. Zaledwie rok później powstał drugi model RepRapa – Mendel, a w 2010 r. – Huxley.<sup>13</sup>

Projekt RepRap zakładał, że urządzenie ma replikować części, z których powstaną części kolejne.<sup>14</sup> Ograniczeniem okazały się układy elektroniczne, których drukarka nie potrafiła wytworzyć. Jednak możliwość wydrukowania zindywidualizowanych elementów konstrukcyjnych i mechanicznych spowodowała, że pomysł zaczął zyskiwać ogromną popularność. Nie bez znaczenia pozostawały także takie aspekty, jak dostępność podzespołów, które można było pozyskać nawet z innych, powszechnie dostępnych urządzeń elektronicznych, czy niższa – w porównaniu do rozwiązań komercyjnych – cena, a także otwartość systemu. Zwłaszcza dowolność dostosowania projektu do indywidualnych potrzeb oraz możliwość rozwijania go zgodnie z własnym zapotrzebowaniem i wymaganiami spowodowały bardzo szybki wzrost zainteresowania nową technologią.

Równolegle do kolejnych odsłon projektu RepRap, na fali popularności technologii, zaczęły powstawać nowe wersje i modyfikacje pierwszych maszyn, które poprawiały jakość i dokładność wydruków, ich prędkość, a także wprowadzały ułatwienia albo większą kontrolę nad całym procesem. Dzięki otwartej licencji wielu entuzjastów i hobbystów zaczęło

---

<sup>13</sup> R. Jones, P. Haufe, E. Sells, P. Iravani, V. Olliver, C. Palmer, A. Bowyer, *Reprap – the replicating rapid prototype*, Robotica, Cambridge University Press, 2011, nr 29, s. 177-191, <http://reprap.org/mediawiki/images/d/da/Jones-et-al-paper.pdf>, dostęp: 2017.10.21.

<sup>14</sup> Oficjalna strona projektu RepRap: <http://reprap.org>; dostęp: 2017.10.21.

komercjalizować swoje rozwiązania, a gotowe urządzenia mogły dotrzeć do osób nieposiadających zaawansowanej wiedzy o elektronice i mechanice. Opracowywano własne urządzenia, w tym całe zamknięte systemy, które ułatwiały proces wytwarzania gotowych elementów. Na rynek powoli zaczęły wkraczać firmy oferujące własne rozwiązania i materiały eksploatacyjne.

#### 1.4. Współczesne zastosowania technologii addytywnych

Współcześnie społeczność zgromadzona wokół otwartych projektów jest olbrzymia i rozszkana po całym świecie. Sposoby interpretacji urządzenia są zróżnicowane, tak jak i jego możliwości techniczne, dokładność i rozwój nadążający za rosnącymi wymaganiami.

Bazowym wyznacznikiem technologii FDM jest warstwowe osadzanie półpłynnego (najczęściej rozgrzanego) materiału. FDM umożliwia ona stosunkowo duże zróżnicowanie zarówno pod względem precyzji, jak i prędkości druku. Urządzenia pozwalają na wykorzystywanie głowic o średnicy nawet 0.1 mm i grubości warstwy od 0.05 mm. Jednakże na tych samych urządzeniach, po wymianie hotendu (tj. dyszy z elementami grzejnymi), można uzyskiwać wydruki przy zastosowaniu dyszy o rzęd wielkości większej, tj. 1 mm i zbliżonej grubości warstwy.<sup>15</sup> Tak duża różnorodność stwarza możliwość uzyskiwania diametralnie odmiennego charakteru finalnych obiektów – od precyzyjnych modeli, w których ślad po procesie niemal się zaciera, aż do ukazania nietypowego procesu realizacji jako waloru.

Technologia FDM jest rozwijana wielotorowo. Niezależni twórcy wciąż udoskonalają takie projekty jak np. Prusa. Otwarcie się rynku chińskiego na detaliczny eksport spowodowało też wzrost zainteresowania tanimi, prostymi rozwiązaniami, które w miarę wzrostu doświadczenia można stopniowo udoskonalać, automatyzować i poprawiać pod względem jakości otrzymywanych rezultatów. Najpopularniejsza obecnie drukarka w formie zestawu do samodzielnego montażu – Anet A8 – stała się przedmiotem żywego zainteresowania ogromnej społeczności twórców, hackerów i hobbystów, dzięki czemu w sieci dostępna jest bogata baza modeli, rozwiązań i oprogramowania służąca udoskonaleniu, rozwijaniu, a nawet całkowitej modyfikacji sprzętu.

---

<sup>15</sup> Celowo pomijam tutaj urządzenia np. do drukowania pożywienia czy wielkogabarytowe eksperymentalne „drukarki” do budynków, gdyż nie są one przedmiotem moich rozważań w niniejszej pracy.

Duże firmy oferują kompleksowe, zamknięte, precyzyjne systemy, zorientowane na maksymalną jakość i powtarzalność otrzymywanych rezultatów, przy minimalizacji ryzyka błędów. Do systemów takich należą, m.in., urządzenia oferowane przez olsztyńską firmę Zortrax. System ten obejmuje nie tylko same urządzenia i materiały eksploatacyjne, ale również dedykowane oprogramowanie, skalibrowane i ściśle współpracujące z drukarką. Dzięki temu proces realizacyjny jest uproszczony i daje rezultaty bardzo wysokiej jakości. Liczba błędów i niedoskonałości zostaje w dużym stopniu zredukowana, a urządzenia te mogą konkurować z rozwiązaniami przemysłowymi wyższej klasy.

Ponadto na popularności wciąż zyskuje technologia SLA, która zaczyna pojawiać się w warsztatach zaraz obok „tradycyjnych” maszyn FDM. Dostępne są urządzenia produkowane komercyjnie, ale również projekty „zrób to sam”, opierające się często o modyfikacje dostępnych, konsumenckich urządzeń, tj. projektorów multimedialnych DLP. Dokładność finalnego obiektu wykonanego w technologii SLA jest znacząco wyższa i pozwala nawet na otrzymanie funkcjonalnej soczewki optycznej.<sup>16</sup> W porównaniu do technologii FDM stereolitografia pociąga za sobą jednak wyższe koszty eksploatacji.

Usługi szybkiego prototypowania stały się już powszechne i są oferowane przez prywatne firmy specjalizujące się w różnych technologiach. Oprócz przedstawionych rozwiązań, wykorzystywane są kompleksowe systemy tworzące działające modele z trwałych materiałów, np. ze stopów metali. Umożliwia to skrócenie czasu potrzebnego na wdrożenie produktu do seryjnej produkcji i w dużej mierze redukuje koszty prototypowania. Rozwijane są dedykowane systemy przeznaczone m.in. dla branży jubilerskiej, pozwalające na odlewanie małych form z metali szlachetnych. Oferowane są również zestawy narzędzi (także manualne, obok tych sterowanych numerycznie) i materiałów pozwalających rzeźbiarzom i modelarzom na przygotowanie formy traconej.

Na przestrzeni prawie pół wieku prototypowanie metodami addytywnymi przebyło długą drogę z laboratoriów firm przemysłowych do pracowni i mieszkań indywidualnych twórców i pasjonatów nowinek elektronicznych. Grupy entuzjastów skomercjalizowały wyniki swoich prac, dzięki czemu powstały nowe marki, które cieszą się dużą popularnością wśród wciąż

---

<sup>16</sup> A. Dudley, *SLO: 3D Printed Camera*, blog autora: <http://amosdudley.com/weblog/SLO-Camera>, dostęp: 2017.11.02.

rosnącego grona odbiorców, a nowe, dokładniejsze, bardziej zaawansowane technologie stają się coraz bardziej dostępne dla zwykłych konsumentów.

## 2. Technologia FDM jako metoda twórcza

Historia technologii addytywnych pokazuje, iż jest to bardzo rozległa dyscyplina oferująca wiele zróżnicowanych rozwiązań. W swojej pracy artystycznej zwróciłem się ku technologii FDM (ang. Fused Deposition Modeling)<sup>17</sup> opartej o urządzenia RepRap. Istotnym czynnikiem, który wpłynął na mój wybór, był otwarty system, pozwalający na modyfikowanie narzędzia do własnych potrzeb, na konstruowanie autorskich rozwiązań dedykowanych konkretnym zadaniom, a także na niezależność od ograniczeń oprogramowania. Jest to też technologia na tyle otwarta i o tak wysokim potencjale rozwoju, że można zakładać przeskalowanie projektów i rozwój w kierunku większych obiektów, a nawet uniezależnienie od ograniczonego ramy urządzenia.<sup>18</sup>

### 2.1. Wykorzystanie technologii przyrostowych w sztukach wizualnych

Obiekty artystyczne powstające przy zastosowaniu technologii przyrostowych powszechnie postrzegane są w opozycji do klasycznych dziedzin i określane jako „nowomediałne”. Przyglądając się jednak praktyce artystów, posługujących się technologiami addytywnymi, zauważyć można powracające napięcie pomiędzy tradycją artystyczną a jej odniesieniem do współczesnych możliwości. Trudno oprzeć się wrażeniu, że rewolucja związana z technologicznym procesem powstawania obiektu wyparła romantyczny model artysty-demiurga i jego unikatowego dzieła, w szczególności wówczas, gdy rolę kreatywną przejmuje urządzenie, nawet nie sterowane ręką twórcy. Jedynym zapośredniczeniem podmiotu twórczego i jego dzieła pozostaje cyfrowy koncept.

Przyglądając się rosnącej popularności technologii addytywnych w sztukach wizualnych trudno jednak uciec od pewnych asocjacji z tradycją historyczno-artystyczną. Pomimo tego, że ambicja twórców posługujących się technologiami FDM sięga daleko poza tradycyjne rzemiosło artystyczne, jest coś bardzo klasycznego w ich pragnieniu jak najwierniejszego

---

<sup>17</sup> Równoważną nazwą jest FFF (ang. Fused Filament Fabrication), wprowadzoną przez dra A. Bowyera, a rozróżnienie wynika jedynie z wykorzystania praw patentowych i zarejestrowanych nazw własnych.

<sup>18</sup> Oficjalny blog projektu *Hangprinter*, <https://vitana.se/opr3d/tbear/>, dostęp: 2017.10.16.

odwzorowania wirtualnego modelu, operowaniu iluzją czy percepcyjnymi pułapkami. Przypomina ono utrwalanie zasady *mimesis* w jej podstawowych założeniach. Obok tej, starożytnej u podstaw, aspiracji, istnieją i inne aspekty, które mogłyby pozwolić na włączenie technologii FDM w obszar historyczno-artystycznych paradygmatów. Jednym z nich jest fundamentalna dla tej metody możliwość replikacji i realizowania nieskończonych serii, przywodząca na myśl raczej atmosferę taśmy produkcyjnej aniżeli pracowni artystycznej. Już w latach 60. XX wieku, za sprawą amerykańskiego ruchu *minimal art*, przeformułowano zarówno rolę artysty, który zdystansował się twórczo od swego obiektu, jak i wyobrażenie medium artystycznego, dalekiego odtąd od szlachetności brązu, drewna czy kamienia. Artyści pokroju Donalda Judda czy Roberta Morrisa za składnik swoich „struktur” przyjęli przemysłowe prefabrykaty, trafiające niemal wprost z wytwórni w przestrzenie galeryjnych *whitecube’ów*. Problem multiplikacji, serializacji i formalnej redukcji stał się dogmatem sztuki będącej radykalnym sprzeciwem wobec przebrzmiewającej tradycji malarskiej. Wykorzystanie gotowych fabrycznych komponentów postawiło również wiele pytań o rolę samego artysty (autora), którą sprowadzono przede wszystkim do formułowania artystycznych konceptów, odrzucając całkowicie znaczenie indywidualnego, ekspresyjnego gestu. Podobny rozłam pomiędzy cielesnością twórcy a jego dziełem zdaje się charakteryzować praca nad sztuką w technologii druku 3D. Jest to kolejny moment w historii, kiedy unikatowość dzieła dialoguje z reprodukowalnymi mediami.

Skrócenie dystansu pomiędzy cyfrowym projektem i jego fizyczną realizacją wzbogaciło język form przestrzennych o zabiegi, które do tej pory charakteryzowały obrazy. Wpływ komputerowego środowiska projektowego spowodował, że cyfrowe deformacje i *glitch-art* dzięki łatwości tworzenia zaczęły przenikać do twórczości rzeźbiarzy, a niektóre z nich pojawiły się jako natywne efekty w dedykowanych programach.

„Untitled (5)”<sup>19</sup> (il. 6) nowojorskiego artysty, Richarda Dupont, przedstawia przeskalowany autoportret, który powstał w wyniku syntezy różnych technologii cyfrowych, charakterystycznych dla twórczości XXI w. Trójwymiarowy cyfrowy model, uzyskany przez skanowanie ciała artysty, został zniekształcony dystorsją falową. Na bazie tego modelu, przy zastosowaniu m.in. technologii addytywnych i ubytkowych, uzyskano formę do odlewu

---

<sup>19</sup> R. Labaco, *Crafting Out Of Hand*, rozm. przepr. L. S. Sims, The Brooklyn Rail, 2014.04.02: <https://brooklynrail.org/2014/04/criticspage/crafting-out-of-handron-labaco-with-lowery-stokes-sims>, dostęp: 2017.12.22.

z żywicy poliuretanowej. Reprodukcje finalnego obiektu przywołują natychmiastowe skojarzenia z zakłóceniami obrazu telewizyjnego.

W wielu swoich dziełach artysta pracuje z wirtualnym obrazem ciała, poddając go przekształceniom i deformacjom do tego stopnia, że zdają się one zatracać figuralność. Rzeźba „Bifurcated”<sup>20</sup> (il. 7) przy pewnych profilach sprawia wrażenie jedynie abstrakcyjnej formy, jednakże przy dalszym oglądzie zauważalne stają się cechy charakterystyczne dla ludzkiego ciała: formy nóg, pleców, a nawet detal ucha. To dostrzeżenie cech ludzkich skutkuje wywołaniem wrażenia sztucznego błędu, swoistego glitchu w materialnym, zmysłowym świecie. Artysta wykorzystuje stosunkowo proste zabiegi, typowe dla oprogramowania 3D, jak np. rozciągnięcie i ściśnięcie bryły, przeskalowanie i multiplikację. Gesty, tak banalne w rzeczywistości wirtualnej, stają się w rękach artysty wyjątkowym narzędziem, pozwalającym przenieść doświadczenie wirtualne do realnego świata. W pracy „Them”<sup>21</sup> (il. 8) Dupont umieszcza osiem sylwetek na płaszczyźnie. Zostały one zdeformowane wzdłuż jednej osi w taki sposób, że kiedy zmieniamy punkt widzenia, obiekty raz jawią się nam jako przestrzenne, raz jako nienaturalnie spłaszczone czy wydłużone. Wraz z przemieszczaniem się widza wokół pracy zmienia się odbiór poszczególnych sylwet: następuje zmiana przedstawień realistycznych na zdeformowane. Przestrzeń obiektu przestaje być liniowa i zdaje się zakrzywiać wraz ze zmieniającą się percepcją.

W przywołanych wyżej przykładach efekt potęguje zastosowanie żywicy o kolorze zbliżonym do ludzkiej skóry. Surrealistyczny charakter obiektów i fizyczna manifestacja wirtualnych błędów-deformacji, które – choć mają matematycznie przestrzeny charakter – w procesie projektowym są percypowane tylko jako płaska reprezentacja na monitorze, wzbudzająca uczucie silnego niepokoju i w pierwszym wrażeniu podająca w wątpliwość realność doświadczenia. Tak silne zderzenie wirtualnej i materialnej rzeczywistości uzasadnienie i źródło znajduje w bazie, tj. w trójwymiarowym, cyfrowym skanie.

Technologia druku przestrzennego niemal nierozdzielnie związana jest z komputerowym obrazowaniem. Ta relacja nie wymaga traktowania cyfrowej rzeczywistości jako źródła obrazu,

---

<sup>20</sup> Oficjalna strona artysty Richarda Dupont: <http://www.richarddupont.com/sculptures/figures/featured-works#7> dostęp: 2017.12.22.

<sup>21</sup> tamże.

ale determinuje ją jako jeden z etapów powstawania dzieła. Nawet w przypadku twórczości Olivera Larica, którego realizacje opierają się na reprodukowaniu istniejących dzieł rzeźbiarskich, jednym z pierwszych etapów pracy jest wirtualny skan z natury.<sup>22</sup> Chmura punktów o zdefiniowanych współrzędnych staje się źródłem obiektów.<sup>23</sup> Działanie artysty bazuje na reprodukowaniu figuratywnych, klasycznych rzeźb. Utwory Larica to odlewy z tworzyw sztucznych, często o zróżnicowanej, intensywnej kolorystyce. Twórca świadomie transformuje drewniane i kamienne jednostkowe rzeźby na „Wersje”<sup>24</sup> (il. 9), które z jednej strony stają się „plastikowymi” kopiami, z drugiej zaś nabierają niepowtarzalnego charakteru właśnie dzięki mieszaniu materiałów. Laric zestawia też różne tworzywa sztuczne w obrębie jednej rzeźby, dzieląc ją na segmenty. Klasyczne dzieła rzeźbiarskie w obrębie jednego obiektu łączą charakter sklepowego manekina, taniej zabawki i kunsztownej reprodukcji (il. 10).<sup>25</sup>

Urządzenia numeryczne sterowane komputerowo, do których zaliczają się także drukarki 3D, umożliwiają zmianę narzędzia twórczego z fizycznego na płaskie odwzorowanie bryły na ekranie komputera. Duża gama dostępnych narzędzi-programów do modelowania, wirtualnego rzeźbienia oraz projektowania parametrycznego pozwala na bardzo zróżnicowane podejście do kwestii formy.

Projektowanie i modelowanie parametryczne, ściśle związane z matematycznymi algorytmami determinującymi formę, to chyba najpowszechniejsza grupa realizacji. Dzięki możliwości wykorzystania złożonych obliczeń i panowania nad nimi, pojawiły się dzieła oparte na strukturach i iteracjach. Zaliczają się do nich także niektóre charakterystyczne zabiegi, jak choćby translacja powłoki zamkniętej bryły do formy ażurowej bazującej np. na parkietażu Woronoja.

Oprócz realizacji korzystających z nowych możliwości technicznych, pojawiają się dzieła nawiązujące do lub czerpiące z natury samego procesu addytywnego. Przykładem takiej

---

<sup>22</sup> Oficjalna strona artysty Olivera Larica: <http://oliverlaric.com/iconutrecht.htm>, dostęp: 2017.12.23.

<sup>23</sup> O. Laric, rozm. przepr. J. F. Waldthausen, artsy.net, 2013.04.29, <https://www.artsy.net/article/johannesfrickewaldthausen-interview-with-oliver-laric>, dostęp: 2017.12.23.

<sup>24</sup> Oficjalna strona artysty Olivera Larica, dz. cyt.

<sup>25</sup> Oficjalna strona galerii Secession: <https://www.secession.at/en/exhibition/oliver-laric/>, dostęp: 2017.12.23.

realizacji może być „Fractal Table” (il. 11, 12) autorstwa studia Platform WertelOberfell we współpracy z Matthiasem Bārem, czyli stół wykonany w technologii stereolitografii, znajdujący się, m.in., w kolekcji The Metropolitan Museum of Art w Nowym Jorku.<sup>26</sup> Czysta, syntetyczna forma, kojarząca się z gałęziami, powstała dzięki inspiracji wzorami fraktalnego wzrostu – algorytmami matematycznymi, które w tym wypadku przywodzą na myśl struktury organiczne. Obiekt, zrealizowany w kilku wariantach, różni się nieco detalami przy zachowaniu ogólnej idei.<sup>27</sup> Wyrastające z czterech punktów podpory rozgałęziają się i zwężają, tworząc ażurową płaszczyznę. Błat, będący elementarną częścią stołu, tworzy gęszcz drobnych, swobodnych elementów, które zdają się rozrastać w nieskończoność.

Doświadczenie w pracy z drukiem przestrzennym nie pozwala mi nie zauważyć analogii do podpór stosowanych w technologii FDM czy SLA, których zadaniem jest mocowanie obiektu do blatu roboczego. Przedstawiona realizacja wydobywa efekt uboczny, zbędny element techniczny tak, aby stał się nie tylko formą, ale także translacją odpadu do roli utworu. Widać tu analizę procesu i zaczerpnięcie z jego natury. Urządzenie pozostaje maszyną

we Flusserowskim rozumieniu, tj. „narzędziem, które na podstawie teorii naukowych naśladuje ludzkie ciało”<sup>28</sup>, tu – umiejętności wytwórcze. Takie pojmowanie można odnieść do aparatów w rozumieniu, w jakim Piotr Zawojski przedstawia je w kontekście urządzeń fotograficznych:

Aparaty usamodzielniały się do tego stopnia [...], że nasza rola sprowadza się do funkcji „pstrykacza”, który jest wyłącznie realizatorem programu zdeponowanego wewnątrz „czarnej skrzynki” [...] na tyle tajemniczej i nieprzejrzywej dla zwykłego użytkownika, że może ona całkowicie nad nim panować. [...] Taki użytkownik to zwykły „funkcjonariusz”, dodatek do maszyny zaprogramowanej według skomplikowanego algorytmu narzucanego przez nią człowiekowi. Może w pewien sposób kontrolować

---

<sup>26</sup> Oficjalna strona studia Platform WertelOberfell: <http://www.werteloberfell.com/?project=fractal-mgx>, dostęp: 2017.12.08.

<sup>27</sup> M. Fairis, *Fractal Table by Platform WertelOberfell*, <https://www.dezeen.com/2008/06/13/fractal-table-by-platform-wertel-oberfell/>, dostęp: 2017.12.08

<sup>28</sup> V. Flusser, *Słownik podstawowych pojęć*, w: V. Flusser, *Ku filozofii fotografii*, Wydawnictwo Aletheia, Warszawa 2015.



wyłącznie output i input aparatu, ale jest zdominowany przez wnętrze „czarnej skrzynki”.<sup>29</sup>

Możemy tę obserwację przenieść na pole urządzeń addytywnych. Wielu twórców korzysta z możliwości formalnych i technicznych, jakie oferuje urządzenie, posiłkując się umiejętnościami wyspecjalizowanych techników. Sprowadzają oni urządzenie do roli „czarnej skrzynki”, funkcjonującej według narzuconych z góry programów. Jednakże, jak pokazała historia projektu RepRap, jest to technologia zachęcająca do spojrzenia do wewnątrz, do zrozumienia i dialogu. Sprzężony zwrotnie z obsługującą go osobą aparat może stać się zwykłą maszyną, tj. „urządzeniem, którego funkcjonowanie uzależnia człowieka” w przypadku, gdy ograniczymy się jedynie do wydawania poleceń urządzeniu. Może także przekroczyć definicję aparatu, gdy „relacja pomiędzy człowiekiem, a urządzeniem jest odwracalna”<sup>30</sup>. Takie podejście przedstawiają m.in. twórcy, których poszukiwania nie ograniczały się tylko do korzystania z gotowych urządzeń, ale do budowy i udoskonalania własnych. W tym wypadku tajemnicza „czarna skrzynka” otwiera się przed twórcą, a jej wnętrze może stać się inspiracją i polem poszukiwań formalnych.

Nieodłącznym aspektem procesu technologii addytywnych (i ubytkowych) jest wykorzystanie języka G-code do komunikacji maszyny z komputerem. W projekcie kolektywu Emerging Objects z San Francisco pt. „GCODE.Clay” (il. 13) można zaobserwować efekty modyfikacji kodu.<sup>31</sup> Wazy, oparte na projekcie prostej, archetypowej bryły, zmieniają swoją powierzchnię dzięki zastosowaniu okresowych aberracji w strukturze danych. W kolejnych warstwach dodane jest wymuszone przesunięcie, odstępstwo od reguły definiującej pierwotną bryłę tak, aby powstał element z jednej strony dekoracyjny, z drugiej zaś ujawniający naturę procesu. Pojedyncze wałki ceramicznego materiału, opadając pod własnym ciężarem, dają podporę kolejnym warstwom, tworzą niepokojący detal. Obiekty formowane w ten sposób częściowo tracą swoją funkcjonalność, ale podkreślają charakter procesu i ujawniają właściwości fizyczne materiału. Powierzchnię obiektów postrzegamy jako miękką, zrobioną nie ze sztywnej ceramiki, a z tkaniny. Detal wykorzystany na obiektach użytkowych został także powtórzony

---

<sup>29</sup> P. Zawojski, *Człowiek i aparat...*, w: tamże.

<sup>30</sup> E. Bonse, *The Adventure of the Future: Vilem Flusser's Last Interview*, *European Photography*, 2001/2002, nr 2, t. 22, s. 11-13, za: P. Zawojski, *Człowiek i aparat...*, w: tamże.

<sup>31</sup> Oficjalna strona kolektywu Emerging Objects: <http://www.emergingobjects.com/project/gcode-clay/>, dostęp: 2017.12.11.

w układach płaskich tablic, pozwalając na dużo szerszą interpretację. Regularny wzór przywodzi na myśl skojarzenia z elewacjami budynków. Oto na jednym z zestawów (il. 14, 15) możemy odczytać układ podziałów, kojarzący się z architektonicznym rozbiem bryły przez powtórzenie elementów: wątku muru ceglanego, boniowania, dachówki itd. Charakterystyczny układ poziomych prostokątów z jednej strony przywołuje skojarzenia z ogromnymi konstrukcjami budynków wysokościowych, z drugiej – miękkość formy humanizuje jej charakter. Powtarzalność wzoru, wprowadzając grę światłocienia, dynamizuje płaszczyznę.

Pojawiają się także układy nieregularne, o swobodnym rozmieszczeniu elementów, przypominające formy organiczne. Układ tablic przywodzi na myśl zdjęcia lotnicze krajobrazów – pól i lasów, a nawet syntetyczne przedstawienie falującego morza. W zależności od perspektywy, przyjęcia optycznej skali oraz wędrowania oka od detalu do ogółu, obiekty te nabierają zarówno wizualnej, jak i znaczeniowej dwoistości. Postrzeganie zmienia się od szczegółowego wycinka przedmiotu (architektury), będącego z pozoru na wyciągnięcie ręki, po odległy, nieosiągalny dotykowo miraż, znany z obrazów zarejestrowanych z lotu ptaka.

Zetknięcie twórcy z nowym narzędziem zawsze skutkuje pragnieniem weryfikacji, doświadczenia, poznania możliwości. Każde narzędzie niesie przecież ze sobą i potencjał, i ograniczenia. Każde ma swoje zalety, ale i wady. Podobnie rzecz ma się z technologiami przyrostowymi, które z powodu swej popularności zdają się być w większości wypadków traktowane mechanicznie. Specyficzne artefakty powstające w procesie stają się elementem niechcianym i z reguły są redukowane: usuwane przez szlifowanie i polerowanie albo przez dokładanie kolejnych warstw gruntów i mas szpachlowych, przez co zostaje zatarty charakter użytego narzędzia.

Czerpanie z natury materiału oraz polemika z maszynową powtarzalnością procesu to działania charakterystyczne dla artystów ze studia Alterfact. W serii „One of a Kind” (il. 16) zaakcentowano błędy pojawiające się w trakcie druku z materiałów ceramicznych, kwestionując reprodukcyjny charakter technologii przyrostowych.<sup>32</sup> Zastosowanie gliny zamiast tworzyw sztucznych pozwoliło na ujawnienie konceptu poprzez wykorzystanie błędu.

---

<sup>32</sup> Oficjalna strona studia Alterfact: <https://www.alterfact.net/one-of-a-kind>, dostęp: 2017.12.11.

Opadające, niepodparte linie materiału nakładają się na siebie tworząc lekkie struktury. Splątane włókna swobodnie spływają po ścianach naczynia wprowadzając strukturalny chaos. Zaobserwować można również zniekształcenia wynikające z fizycznych cech samego materiału, które zostały podkreślone w cyklu „Collapse” (il. 17, 18). Zdeformowane naczynia tracą swój pierwotny kształt pod wpływem grawitacji, dlatego powstałe obiekty stwarzają wrażenie wykonanych z elastycznego tworzywa sztucznego. Jednocześnie nie sposób oprzeć się skojarzeniom z formami przestrzennymi, które mogłyby zaistnieć, jako monumenty umieszczone w kontekście przestrzeni miejskiej.

Powyższe przykłady ilustrują wpływ technologii FDM na zmianę percepcji materiału. Okazuje się bowiem, że tak tradycyjne i powszechne tworzywo jak glina, może wywoływać skrajnie różne wrażenia: od miękkich wazonów grupy Emerging Objects, po analityczne i oszczędne w formie prace studia Alterfact. Sposoby wykorzystania tego samego materiału i urządzenia o podobnej konstrukcji ujawniają nieskończone możliwości konfundowania zmysłów podczas odbioru obiektu. Komunikat wizualny rozmija się z doświadczeniem haptycznym. W tym sensie sztuka powstająca przy wykorzystaniu technologii FDM skrywa wysoki potencjał iluzoryczny i wrażeniowy.

Jednakże skupienie się wyłącznie na atrakcyjności końcowego obiektu ociera się o mechanizm produkcji, w którym aktywność twórcy zamyka się między zaprojektowaniem wirtualnego obiektu a jego realizacją. Obserwacja etapów powstawania, która w przemysłowym procesie drukowania przestrzennego nie ma żadnej wartości merytorycznej, a jest jedynie środkiem do celu, ujawnia racjonalność i techniczność całego procesu. Zarazem prowokuje do postawienia znaku zapytania przy akceptacji błędów, przyjmowaniu form nieudanych za pełnowartościowe lub uznawaniu wszelkiego rodzaju produktów ubocznych procesu jako jego elementów integralnych. Dążenie do poszukiwania i odkrywania natury procesu druku przestrzennego w charakterze narzędzia twórczego wydaje się poszerzać sens samego obiektu.

Linearny charakter technologii FDM, a jednocześnie organiczny i zbliżony do natury efekt możemy zaobserwować w dziele Anisha Kapoora „Greyman Cries, Shaman Dies, Billowing Smoke, Beauty Evoked”<sup>33</sup> (il. 19), po raz pierwszy prezentowanym w Royal Academy of Arts

---

<sup>33</sup> Oficjalna strona artysty Anisha Kapoora: <http://anishkapoor.com/130/greyman-cries-shaman-dies-billowing-smoke-beauty-evoked>, dostęp: 2017.12.22.

w Londynie.<sup>34</sup> Sala wystawiennicza została wypełniona rzeźbami z betonu umieszczonymi na paletach. Zróżnicowanie obiektów pod względem formy uzyskanych przy pomocy tego samego narzędzia i materiału pokazuje, jak pozornie prosty zabieg może być przyczynkiem do bogactwa kształtów i rozwiązań w rękach artysty. Nieregularne cylindry, zbudowane metodą nakładania kolejnych warstw materiału, tworzą obiekty, które pomimo swojej skali i wagi sprawiają wrażenie lekkich i kruchych. Widoczne na powierzchni nieregularności wynikają z miękkości nakładanego materiału i kontrastują z charakterem betonu. Surowe tworzywo, kojarzone z konstrukcjami inżynierskimi, zyskuje w rękach artysty zdumiewającą plastyczność. Bogata forma przywodzi na myśl wręcz barokowe zdobnictwo z jego przepychem, swobodą i dynamiką. Relacja obrazuje, jak duże znaczenie wynika z oporu stawianego przez materiał rzeźbiarski.<sup>35</sup> Spękania, ukruszenia i złamania składają się na intensywność oddziaływania na odbiorcę, obok gładkich, miękkich, organicznych form, pojawiają się drastyczne zniszczenia i ubytki (il. 20).

W książce „Unconformity and Entropy” artysta prezentuje bogatą dokumentację powstawania dzieł oraz struktury uzyskane z różnych rodzajów mieszanek betonowych, przy użyciu różnych narzędzi i sposobów nakładania. Twórca porusza się w swoich realizacjach między powierzchniami surowymi, ciężkimi i ziarnistymi a gładkimi i plastycznymi, ukazującymi szlachetność materiału. Fascynuje różnorodność form i faktur, ale nawet w przypadku zastosowania tego samego materiału, sposób dokładania go diametralnie zmienia odbiór pracy. Obok dzieł o czytelnej, zdefiniowanej geometrii, opartej na podstawowych figurach i bryłach – sześciannie czy walcu, napotykamy obiekty będące efektem zniszczenia, spękania, złamania. Regularny układ warstw miesza się z intensywnymi zaburzeniami i naddatkami materiału, podkreślając organiczność i złożoność formy.

Dzieło Kapoora, monumentalne w formie, ujawnia potencjał zawarty w materiale i powiązanej z nim technologii, choć sam artysta pisze, że pomimo technicznego pochodzenia obiektów „są one bardziej pokrewne naturalnym rzeczom, niż tym stworzonym przez projektowanie

---

<sup>34</sup> A. Price, *Anish Kapoor at the Royal Academy: a conversation with Dr Adrian Locke*, 2009.12.18, <http://www.nouse.co.uk/2009/12/18/anish-kapoor-at-the-royal-academy-a-conversation-with-dr-adrian-locke/>, dostęp 2017.12.22.

<sup>35</sup> Oficjalna strona Factum Arte: <http://www.factum-arte.com/pag/49/Greyman-cries-Shaman-Dies-Billowing-Smoke-Beauty-Evoked>, dostęp: 2017.12.22.

[dosł. *design*]<sup>36</sup>. Stojąca za realizacją idea, aby stworzyć maszynę do generowania form, by „stworzyć Sztukę bez [użycia] dłoni” zaowocowała „wyłonieniem się nowej rzeczywistości”<sup>37</sup>. Obiekty Kapoora sytuują się na styku kreacji, technologii i entropii. W swojej książce stwierdza, że opracowany „Silnik Tożsamości” [dosł. *The Identity Engine*] tworzy nowe formy przekraczające granicę obiektu-wytworu [*artifice*] i wydarzenia [*event*]. Sugeruje, że powstały stan materii zyskuje własny umysł [*mind*] i zachowuje jedynie luźną relację z zamiarem twórczym i możliwością kontroli przez artystę. Takie rozumienie przedstawionego dzieła humanizuje technologiczny aspekt jego powstania, a nawet go w pewien sposób animizuje czy wręcz personifikuje – jeśli przyjmiemy, że umysł jest domeną człowieka. Techniczny proces zyskuje, a nawet przekracza, twórczy charakter w rozumieniu twórczego działania artysty, choć, jak zaznacza autor „Metody technologiczne dają rozwiązania technologiczne. Jednak nie to jest istotą tego zagadnienia.”<sup>38</sup>

Technologie przyrostowe istnieją już w świadomości masowej i kulturze popularnej, jednak wciąż są na tyle nowe, że ich zastosowanie może przysłaniać sens i przekaz utworu artystycznego. Odbiorca docieka możliwości technicznych, jakościowych, stara się zweryfikować medialne informacje, ale zdarza się, że umyka mu przesłanie stojące za konkretną realizacją. Jest to zjawisko chętnie podsycane przez producentów urządzeń, którzy zapraszają do współpracy artystów, aby zademonstrować możliwości techniczne. Efektem są dzieła oparte na zjawiskowości form, a „drukowanie na żywo”, kiedy maszyna jest udostępniana do publicznego oglądu, stanowi rozrywkowy performans.

## 2.2. Pomiedzy technologicznymi ujęciami sztuki a artystycznym oswojeniem technologii. Archeologia medialności własnej pracy twórczej

Studia na Wydziale Architektury, zrealizowane projekty urbanistyczne i wnętrzarskie uświadomiły mi, że technologia w generalnym ujęciu pełni nie tylko rolę funkcjonalną, ale jest głęboko zanurzona w ludzką tożsamość, choć zdają sobie sprawę, że dyskutowany od dziesięcioleci konflikt pomiędzy przewagą tego, co technologiczne nad tym, co kulturowe (i odwrotnie) nigdy nie osiągnie jednoznacznego rozstrzygnięcia. Maszyna może być

---

<sup>36</sup> A. Kapoor, *Unconformity and entropy: Greyman Cries, Shaman Dies, Billowing Smoke, Beauty Evoked*, Turner, Madryt 2009.

<sup>37</sup> tamże, s. 39.

<sup>38</sup> dosł. „Technological methods give technological solutions. This is not the case here”, tamże, s. 39.

jednakowo „ludzka”, np. popełniać błędy, co człowiek „mechaniczny” – praca serca, oddychanie, mruganie. Choć moich pierwszych poszukiwań artystycznych nie cechowały podobne rozważania, dość szybko zwyczajowy funkcjonalizm urządzeń przestał mi wystarczać.

Początki mojej pracy artystycznej związane są z fotografią. Obok istoty i zawartości kadru w równym stopniu zainteresowała mnie procesualność tego medium, jego mechanika, rytmiczność i poddanie rygorowi czasu. W instalacji „1/1000” [X Międzynarodowe Spotkania Artystyczne EXPERYMENT] z 2010 roku (il. 21) fotografia mieszkańca wybranej kamienicy wyświetlana była na klatce schodowej tegoż budynku. Impulsem do pojawienia się obrazu było wykonanie fotografii przez widza. Wówczas, w bardzo krótkim czasie (1/1000 sekundy), obraz był widoczny na ścianie. Projekcja trwała więc tyle, co moment błysku lampy aparatu fotograficznego. O działaniu tym myślałem w kategoriach próby wyizolowania obrazu ze świata realnego i przeniesienia go w obszar wirtualności, poprzez sprowadzenie do ekstremalnie krótkiego (podprogowego wręcz) czasu ekspozycji.

W serii działań pt. „Znikać” (il. 22) [Galeria Baszta, Zbąszyń, listopad 2011; V Międzynarodowy Festiwal Kultury Studenckiej ARTenalia, Stara Rzeźnia, Poznań, maj 2012; Jura-Paris Road Trip Anniversary, Musée du Jouet, Moirans-en-Montagne, Francja, październik 2012; Galeria pod Arkadami, Łomża, styczeń 2013] przy zastosowaniu podobnych środków świadomie odwróciłem sens „1/1000”. Podobny zautomatyzowany environment, w którym znaczenie działania determinowane było przez automatyzm maszyny, w tym przypadku fotograficznej lampy błyskowej, zaprogramowanej na wywoływanie błysku co 15 sekund. Zawartością ekspozycji do momentu ujawnienia działania wydawał się jedynie statyw z lampą, pozwalający na swobodne przechadzanie się między nim a jedną ze ścian. Sens tej performatywnej instalacji ujawniał się dopiero w momencie błysku lampy i zarejestrowania sylwetki widza, a właściwie jej negatywu w formie cienia, na oddającej światło, pokrytej farbą fosforescencyjną, powierzchni ściany. Siłą sprawczą był w tej samej mierze przypadek, co mechaniczna kontrola. Portrety uczestników zdarzenia przeczyły podstawowemu założeniu fotografii czyli utrwalaniu wizerunków. W „Znikać” ich sensem było właśnie ulotne trwanie, zdeterminowane bezdusznym, wydawałoby się, automatycznym gestem.

W pracy z projektorami, procesem fotograficznym i, w pewnym stopniu, działaniem chemii fotograficznej, zaintrygowało mnie samo światło jako tworzywo. To ono w końcu jest

substratem zaistnienia zdjęcia w fizycznej formie, jak i możliwości jego scyfryzowanego projektowania. W serii kolejnych projektów studiowałem światło jako materiał twórczy, nie zaś element pośredni zaistniałego obiektu. Jedną z takich realizacji jest obiekt prezentowany dwukrotnie, jako „Inkubator: nova.PK1305” (il. 23) w ramach Festiwalu Światła Piękne Kłamstwa w ogrodach Biblioteki Uniwersytetu Warszawskiego oraz „Inkubator: nova.MA1310” podczas 7. Multi Art Festival w Kaliszu w 2013 r. „Inkubator” to obiekt w formie pionowej tuby, do której widz zagląda przez rodzaj peryskopu. Wierzchnia obudowa skrywa swoisty performans materii i światła, rozgrywający się w mikroskali. Oba tytuły nawiązują do pojęcia z zakresu astronomii, tzw. „supernowej”, czyli śmierci gwiazdy i narodzin mgławicy. W wyniku eksplozji, do której dochodzi w przestrzeni kosmicznej powstaje niezwykle jasny obiekt, już po kilku tygodniach lub miesiącach zupełnie niewidoczny. Potężna fala uderzeniowa będąca konsekwencją wybuchu pozostawia ślad w postaci mgławicy – ostatni z etapów „życia” supernowej. „nova.PK1305” oraz „nova.MA1310” w przewrotny sposób naśladuje efekt wizualny tego zjawiska. Wewnątrz „Inkubatora” umieściłem pojemnik wypełniony olejem z cienką warstwą benzyny na powierzchni oraz drugi pojemnik, powyżej, wypełniony zawiesiną fosforyzującego pigmentu proszkowego w oleju. Tuż przed wydostaniem się zabarwionej cieczy, kropla w ostatniej chwili była naświetlana przez promienie UV. Jasny punkt spadał wprost do wypełnionego olejem zbiornika, rozbijając się na miriady wolno gasnących, wirujących drobin (il. 24). Oko widza było zatem świadkiem realnej świetlnej eksplozji, przeniesionej z makro- do mikrokosmosu.

Kolejne projekty, w których zająłem się dynamiką i plastycznością światła, a także możliwościami angażowania widza w immersyjną przestrzeń, to „Palimpsest” [Galeria XX1, Warszawa, 2013] oraz „Płochy” [44. Międzynarodowy Kampus Artystyczny FAMA, Miejsce sztuki 44, Świnoujście, 2014; VTDK, Wilno, 2016].

„Płochy” to filigranowa realizacja w formule site-specific, składająca z obiektu uformowanego z przewodu elektroluminescencyjnego (il. 25). Przypominający gniazdo obiekt umieszczony był w sklepieniu bramy wejściowej do galerii Miejsce sztuki44, a w późniejszej wersji – w koronie drzewa w przestrzeni miejskiej Wilna. Praca, podobnie jak wcześniejsze realizacje, wymagała dopełnienia poprzez udział widza. Przy zachowaniu bezpiecznej odległości obiekt pulsował światłem w jednostajnym rytmie, kojarzonym z biciem serca, a po przekroczeniu niewidocznej granicy z każdym krokiem tempo świetlnego pulsu przyspieszało, aż do jego całkowitego zgaśnięcia.

„Palimpsest” (il. 26) to realizacja, w której nadal obiektem mojego szczególnego zainteresowania pozostawało światło, jednak w kontekście mojej obecnej twórczości postrzegam ją w nieco innych kategoriach. Głównym założeniem „Palimpsestu” było zwizualizowanie dźwięku, a konkretnie wypowiedzi współuczestników instalacji. W przestrzeni Galerii XX1 umieściłem pionowy, obracający się wokół własnej osi walec, pokryty farbą fosforescencyjną. Na osi ruchomego obiektu ustawiłem wiązkę światła lasera, która po odbiciu od lustra padała na cylinder. W zależności od właściwości głosu uczestnika (takich jak siła, zmienność, tempo mówienia), wychylenie zwierciadła powodowało przesunięcie świetlnego punktu w pionie. Pod wpływem świetlnego punktu wypowiedź mówiącego zapisywała się w formie wykresu przypominającego zapis EKG. Rejestrowane zapisy wiązki światła, bardzo wyraziste z początku i stopniowo blednące, nakładały się na siebie tworząc wizualny palimpsest – medium, które u źródeł kondensuje sprzeczność trwałości zapisu z przemijaniem. Po raz kolejny zaintrygował mnie tu również dwugłos sprzecznych wartości – wirtualnego pierwowzoru, jakim jest głos oraz jego materialnej reprezentacji.

Moje pierwsze doświadczenia związane z technologią FDM są typowe dla każdego nowicjusza w danej dziedzinie. Początkowa fascynacja możliwością otrzymywania przestrzennych obiektów dość szybko przerodziła się w chęć doskonalenia zarówno swoich umiejętności, jak i precyzji samego urządzenia.

### 2.3. Technologia FDM w pracy artystycznej w latach 2014–2017

Przez pierwsze dwa lata wykorzystywałem dostępną drukarkę 3D, model RapCraft 1.3 polskiej firmy Omni3D, jako narzędzie *stricto* techniczne. Opracowywałem i wykonywałem części mechaniczne oraz modele przestrzenne, weryfikując możliwości materiałowe i poszukując optymalnych parametrów druku. W tym czasie zrosnącą popularność i fascynację tą technologią. Po raz pierwszy, mogłem zrealizować plany związane z twórczością fotograficzną, pomimo braku dostępu do precyzyjnych urządzeń skrawających. Pierwszym zrealizowanym modelem mojego autorstwa był adapter do obiektywu pochodzącego z aparatu projekcyjnego na taśmę filmową 16 mm Łódzkich Zakładów Kinotechnicznych – Lucar – do systemu Micro 4/3. Drugą, bardziej złożoną technicznie realizacją, był adapter systemu Minolta MD do systemu Canon EF. W momencie



projektowania przez mnie tego elementu w sprzedaży było jego odpowiedników o wymaganych parametrach.<sup>39</sup> Jednakże, nawet pomimo dość prostego urządzenia, którym się posługiwałem, udało mi się osiągnąć to, co do tej pory było całkowicie poza zasięgiem realizacyjnym.

Wyżej opisane doświadczenia utwierdziły mnie w przekonaniu, że z perspektywy rzemieślniczej druk 3D może stać się jednym z najbardziej przystępnych mediów. Umiejętność obsługi oprogramowania do tworzenia modeli trójwymiarowych i opanowanie podstawowych wymogów technicznych pozwalają na realizację własnych projektów, które do tej pory wymagały wielu urządzeń i zaawansowanej wiedzy technicznej. Oczywiście nie są to rozwiązania tej samej klasy, jednak oferują dużą swobodę kreacji, umożliwiają weryfikację idei i uniezależniają twórcę od zewnętrznych wykonawców.

Początkowo moja uwaga zorientowana była na najwyższą precyzję wykonania. To właśnie dzięki temu ciągłemu ścieraniu się wyobrażeń o perfekcji i fizycznych ograniczeń zacząłem zauważać charakter technologii i dostrzegać drzemiący w nim potencjał.

Do tej pory zrealizowałem 5 upubliczniętych utworów, w których zastosowanie znalazł druk przestrzenny. Chronologia realizacji nie pozostaje bez znaczenia, gdyż pokazuje wyraźny postęp i pogłębiającą się analizę procesu.

## Owoce oświecenia (2014)

Pierwszym zrealizowanym utworem były „Owoce oświecenia” (il. 27, 28). Instalację tworzyło dziewięć obiektów dyskretnie zawieszonych w koronie drzewa. Swoją formą i kontekstem przestrzennym nawiązywały do przeskalowanych owoców, jednak wykorzystane materiały, jak i sam proces tworzenia, pochodziły ze świata form przemysłowych. Umieszczona we wnętrzu obiektu taśma LED o białej barwie światła sterowana była czujnikiem ruchu, zainstalowanym w miejscu odpowiadającym kielichowi owocu. Całość dopełniła ceramiczna oprawa.

---

<sup>39</sup> Głównym problemem konstrukcyjnym jest minimalna różnica w odległości mocowania od matrycy światłoczułej w obu systemach. Problem udało się rozwiązać projektując bardzo cienki kołnier i montując adapter na bagnecie obiektu na stałe.

Źródło idei leży w przedstawieniu momentu pojawienia się pomysłu w umyśle bohaterów filmów animowanych. „Oświecenie” postaci jest często obrazowane jako żarówka ukazująca się nad głową, stąd, wzorowany na dużych lampach rtęciowych, pomysł na formę obiektów. Praca stanowi swoisty żart, który dzięki zabiegom formalnym pozwolił na poszerzenie wyrazu o ożywienie przestrzeni naturalnej. Dosłownie przeniesiona forma przemysłowej lampy przetransformowana została w organiczny owoc dzięki umieszczeniu w kontekście i wykorzystaniu charakterystycznego, warstwowego wzoru powstającego przez cykliczne nakładanie materiału. Wewnętrzne światło stało się jedynie dopełnieniem formy.

W obiektach wykorzystałem możliwość budowania bryły poprzez jednostajne nakładanie kolejnych warstw tak, aby uzyskać ciągłą powierzchnię. Końcowy rezultat stanowiła cienka powłoka, przypominająca monumentalne jajo, która stała się głównym elementem obiektu.

Wykorzystując druk przestrzenny w tejże realizacji kierowałem się przede wszystkim jego możliwościami praktycznymi: stosunkowo szybkim opracowaniem założonej przeze mnie eliptycznej formy oraz możliwością uzyskania cienkościennego przekroju, który jest trudny do osiągnięcia w jakimkolwiek innym medium. Rezygnacja z wypełnienia i wykorzystanie jedynie zewnętrznej powierzchni pozwoliły na uzyskanie ścian o grubości równej średnicy dyszy drukującej, w tym przypadku wynoszącej 0.5 mm. Otrzymana forma miała wystarczającą wytrzymałość i sztywność, a jednocześnie była na tyle transparentna, aby pozwolić na podświetlenie jej z wnętrza.

Już etap projektowy ujawnił szereg czynników, które należy rozważyć jako istotne dla technologii FDM jako metody twórczej. Format zapisu cyfrowego modelu (STL) nie pozwala na zapisanie krzywej, czyli linii o nieskończonej dokładności. Zamiast tego wykorzystywana jest chmura punktów, przez co następuje redukcja do skończonej liczby odcinków. Szczegółowość modelu można zdefiniować wystarczająco, aby te odcinki nie przekraczały rozdzielczości wydruku lub przynajmniej nie były wizualnie czytelnie. Podjąłem jednak decyzję o podkreśleniu wykorzystanego narzędzia i technicznego charakteru finalnego obiektu.

Ostatnim aspektem okazał się sam materiał. W tym miejscu należy wspomnieć, że „Owoce oświecenia” powstały niecałe 4 lata po tym, kiedy pierwszy projekt RepRap pojawił się

w Polsce.<sup>40</sup> Korzystałem z materiału PLA, produkowanego w kraju przez młodą wówczas firmę. Już pierwszy wydruk pokazał niejednorodność tworzywa, która doprowadziła do wizualnego zróżnicowania powierzchni. Subtelne różnice w kolorze kolejnych warstw nadawały obiektom organicznego charakteru dzięki swojej nieregularności i miękkim przejściom tonalnym. Cecha ta, choć nieplanowana i wynikająca z wady materiału, stała się dla mnie ważnym elementem rozważań nad procesem druku i możliwościami reprodukcyjnymi urządzeń addytywnych. Zrozumiałem, jak techniczne urządzenie może zostać wykorzystane do kreacji obiektów organicznych nie tylko formalnie, ale o poszerzonym spektrum cech. Ograniczenia technologiczne, choć chętnie pomijane w przekazie marketingowym, mogą prowadzić do nadania jednostkowego charakteru i zindywidualizowania wyrazu.

## Populacje (2016)

Kolejną realizacją był cykl obiektów „Populacje” (il. 29, 30), który opierał się na algorytmach matematycznych, silnie skorelowanych z rzeczywistością ożywionej natury. Forma i parametryczność topologii powstała przy użyciu narzędzi przeznaczonych do budowania i analizy systemów urbanistycznych, a ostateczny kształt nadał zmechanizowany proces druku przestrzennego.

Cykl tworzy 18 wydruków 3D umieszczonych wewnątrz szalek Petriego – naczyń laboratoryjnych przeznaczonych do hodowli mikroorganizmów. Forma została opracowana przez podział płaszczyzny tessellacją Woronoja i dopełniona fizycznym zapisem procesu. Przemieszczająca się głowica drukująca zostawiła ślad toru ruchu w postaci cienkich włókien, tworząc unikalną sieć połączeń pomiędzy punktami obiektu. Cyfrowo wygenerowane i „bezduszne” dzieło jest zakorzenione w teoriach matematycznych odnoszących się do struktur natury, detal zaś stanowi rejestrację procesu, wynikającego z fizycznego charakteru materiału i narzędzia. To właśnie ta przestrzenna sieć, powstała jako efekt uboczny – artefakt – zastosowanej technologii, zwróciła moją uwagę w kierunku poszukiwań twórczych opartych na naturze technologii FDM.

---

<sup>40</sup> W sierpniu 2010 roku na Politechnice Warszawskiej zbudowano w Polsce pierwszą drukarkę opartą na projekcie Mendel. Boratyński T., Rosienkiewicz M., Olejarczyk M., *Budowa drukarki 3D RepRap*, *Mechanik*, 4/2011, [http://www.mechanik.media.pl/pliki/do\\_pobrania/artykuly/2/3870\\_boratynski.pdf](http://www.mechanik.media.pl/pliki/do_pobrania/artykuly/2/3870_boratynski.pdf), dostęp: 2017.10.20.

Istotna w aspekcie druku przestrzennego jest zmiana znaczeniowa zachodząca w trakcie przygotowania modelu wirtualnego. Rozwijająca się forma zmienia swoje znaczenie w zależności od etapu czy kontekstu, w jakim jest umieszczana. Pierwsze, geometryczne struktury (il. 31a), bez punktów odniesienia nie pozwalają na zauważenie relacji przestrzennych. Dopiero w momencie, gdy na bazie powstałej siatki zbudowany zostaje rzut z zaznaczoną szerokością ulic i dalszymi podziałami, zaczynamy przyrównywać obraz do rzeczywistej sytuacji. Rzut staje się czytelną reprezentacją planu miasta (il. 31b, c). Dodanie brył budynków o zróżnicowanej wysokości umacnia postrzeganie przedstawienia jako modelu urbanistycznego (il. 31d). Ingerencja w programie do modelowania 3D, polegająca na usunięciu zewnętrznego pierścienia i dodanie podstawy oraz dookreślenie przez nałożenie materiału kierują percepcję w stronę makiety (w przypadku przedstawienia wyrenderowanego obrazu) (il. 31e). Finalny, realny obiekt diametralnie zmienia swoje znaczenie po umieszczeniu wewnątrz szalki Petriego, poszerzając znaczenie o fenomeny biologiczne.

Po prześledzeniu procesu realizacyjnego łatwo zauważyć, jak trójwymiarowa przestrzeń cyfrowa może wpływać na poszukiwanie relacji skali i kontekstu zarówno w sposób konstruktywny, jak i zaburzający postrzeganie. Jej charakterystyczną cechą, którą szerzej omówię w kolejnych rozdziałach, jest swobodne skalowanie obiektu. Oprogramowanie do tworzenia i edycji cyfrowych modeli 3D pozwala na niemal nieskończone powiększanie i zmniejszanie widoku. Usunięcie kontekstu wirtualnej reprezentacji może łatwo doprowadzić do postrzegania obiektu jako zredukowanego albo przeskalowanego względem jego zakładanych, rzeczywistych wymiarów. Dopiero urzeczywistnienie w konkretnej skali definiuje obiekt, jego sens i formę. Nie można zatem mówić o swobodnym skalowaniu fizycznego obiektu, gdyż różnica pojawi się nawet w relacji obiektu do wysokości drukowanej warstwy czy średnicy dyszy.

## (Nie)zbędne (2016)

Refleksja na temat zjawiska zaobserwowanego w „Populacjach” sprowokowała do poszukiwania takiej formy, która zdecydowanie ujawniłaby naturę druku przestrzennego. Taka idea została zawarta w obiekcie „(Nie)zbędne” (il. 32). Prosta bryła o podstawie kwadratu, zwieńczona u góry łukiem, została wygenerowana w całości przez program komputerowy, napisany przeze mnie specjalnie w tym celu. Zewnętrzne ściany definiują formę bryły i stają się pretekstem dla ruchu głowicy drukującej, ujawniając naturę procesu i stanowiąc jego czytelną zapis. Zwielokrotnione cienkie włókna pozwalają odczytać

sekwencję, ale także stanowią podstawowy budulec przestrzennego zjawiska. Nowego znaczenia nabiera ta część procesu, która z reguły pozostaje niewidoczna, nawet niechciana, a która w pewnych przypadkach stanowi znaczącą część pracy. Element w „Populacjach” dopełniający formę tu staje się sensem całego utworu.

„(Nie)zbędne” obrazuje inne podejście do zagadnienia druku przestrzennego. W odróżnieniu od „Populacji”, gdzie zaistniał wirtualny model trójwymiarowy, ten obiekt jest całkowicie generowany przez algorytm i do momentu wczytania uzyskanych danych trudno przewidzieć efekt końcowy. Ciągi liczb i algorytmy stają się jedynie wskazówkami dla jego rzeczywistych wymiarów. Ponadto, ze względu na przyjętą jako założenie dużą zależność od jakości i rodzaju materiału, od pracy konkretnego modelu drukarki, niedokładności narzędzia oraz czynników zewnętrznych, możliwość przewidzenia finalnego rezultatu nie jest nieograniczona. Prowadzi to do wniosków, że o ile cyfrowe źródło jest precyzyjnie dookreślone i niezmienne, to każdorazowe powtórzenie tego samego modelu będzie stanowiło jednostkowy i niepowtarzalny obiekt.

## Dźwięk obrazu | Obraz dźwięku (2017)

W maju 2017 r. w ramach projektu „Biografie Warszawy” zrealizowałem działanie „Dźwięk obrazu | Obraz dźwięku” w Galerii Fundacji Profile w Warszawie (il. 33, 34). Skierowane do osób niedowidzących wydarzenie oparte było na wykorzystaniu autorskiego urządzenia, które w czasie rzeczywistym przetwarzało dźwięk głosu uczestnika na reliefowy obraz. Uczestnik, odpowiadający na pytanie dotyczące pierwszych wspomnień związanych z Warszawą, determinował ruch głowicy nanoszącej materiał na obracającym się stole. Powstawał w ten sposób taktylny obiekt na bazie okręgu umieszczonego na płycie o wymiarach 150 × 150 mm. Na zróżnicowanie formy wpływały więc siła głosu, barwa, ale także tempo mówienia i momenty ciszy. Powstałe obiekty stanowiły impresyjny obraz historii, niemożliwy do odtworzenia w pierwotnej formie. Struktura pozwalała na odbiór wraźniowy, tj. prześledzenie chwil namysłu, nagłych wahań głosu czy momentów ekscytacji.

Realizacja ta przyniosła dalszą redukcję, z procesu został usunięty cyfrowy model przestrzenny, a generatorem formy stał się głos uczestnika. Przygotowane i zapisane źródło, które decydowało o ruchu głowicy, zostało zamienione na działanie w czasie rzeczywistym, ale źródło formy pozostało w sferze wirtualnej. Natura głosu, fali dźwiękowej, choć fizyczna w sensie naukowym, pozostaje nieuchwytna.

Ze względu na zaadresowanie projektu do osób niewidomych i niedowidzących, zdecydowałem się na ujednoczenie barwy materiału i płyty. Detal urywającej się niekiedy linii przywodzi na myśl zapis punktowy, charakterystyczny dla pisma Braille'a. Powstał w ten sposób subtelny relief, sugerujący raczej odczuwanie dotykiem, aniżeli wizualny odbiór.

## Aliaż (2017)

„Aliaż” (il. 35, 36) jest kontynuacją rozważań dotyczących druku przestrzennego, w którym następuje dekonstrukcja procesu. Finalny obiekt, oparty na podstawach technologii i wykorzystujący jej elementy składowe, całkowicie traci swoje znaczenie funkcjonalne.

Z praktycznego urządzenia zostają wyodrębnione i umieszczone naprzeciw siebie jedynie dwa elementy służące ekstruzji materiału. Z procesu wyeliminowano sterowanie pozycją, a przebieg narastania struktury oparty jest na zmiennych czynnikach fizycznych. Brak bezpośredniej kontroli nad ruchem głowic oraz ich sztywne przytwierdzenie do ścian obiektu eliminują budowanie ściśle określonej formy. Sterowanie ogranicza się do zapewnienia najbardziej podstawowych funkcji, tj. utrzymywania właściwej temperatury głowicy i wymuszenia ruchu silnika. Na ostateczny kształt, tempo, wariacje i wielkość elementów wpływa szereg czynników: od materiału, przez wahania temperatury głowicy, po niedoskonałości i odkształcenia konstrukcji.

Sam proces przebiega przy akompaniamencie dźwięków silników krokowych, obracające się wały emitują ciche tykanie, przywodzące na myśl dialog prowadzony przez maszyny. Wrażenie to potęguje obserwacja ekstrudowanego materiału, którego cienkie włókna mieszają się ze sobą, zawijają, skleją, aby na koniec pod własnym ciężarem opaść na podstawę platformy. Wówczas narastanie zaczyna się od nowa.

Zbyt duża ekstruzja materiału blokuje jego opadanie – oblepia on wówczas dysze, przez co filament zaczyna się klinować w ich wnętrzu. Działające w konstrukcji naprężenia powodują charakterystyczne odkształcanie obu głowic. Pracujący silnik popycha materiał, doprowadzając do lekkiego wyboczenia, które ustępuje, gdy przekroczy punkt graniczny i głowica wraca na swoje miejsce. Drgania te sprawiają wrażenie języka porozumiewania się dwóch przeciwstawnie umieszczonych elementów, a ich nieregularność dodatkowo wzmacnia wrażenie organiczności dialogu.

Na platformie nabudowuje się przestrzenna struktura, złożona z wielu luźno ułożonych na sobie elementów. Nieregularne, organiczne formy są porządkowane przez proste, zdecydowanie cieńsze włókna, będące efektem rozciągania opadającego materiału. Wyczuwalny jest potencjał do dalszego wzrostu. Kompozycja otwiera się we wszystkich kierunkach, wywołując skojarzenia z biologiczną formą – grzybnią, komórką czy rośliną. Zdecydowanie kontrastuje z minimalistycznym, geometrycznym, technicznym kontekstem, w jakim powstaje.

### 3. Aspekt realny i wirtualny w procesie realizacji z wykorzystaniem technologii przyrostowych

W użytkowym zastosowaniu druk przestrzenny rozpoczyna się od przygotowania modelu trójwymiarowego. Aby otrzymać jak najlepszy rezultat, model taki spełnić musi szereg wymagań, niezależnie od wybranej technologii przyrostowej. Można powiedzieć, że niezależnie od wybranej technologii w ogóle, ponieważ każda posiada właściwe sobie ograniczenia. To, co jednak jest wspólne dla technologii wspieranych przez komputerowe sterowanie, to idea obiektu cyfrowego, wirtualnego.

Powstaje on na ekranie komputera przy użyciu różnych metod, od – najpowszechniejszego – modelowania, przez skanowanie przestrzenne, po różne rodzaje wirtualnego „rzeźbienia”. W swojej ostatecznej formie ma jednak pewną cechę, która łączy wszystkie zjawiska wirtualne: jest nią niezmiennność i perfekcyjna replikacja. Cyfrowe dane, skopiowane na nośnik, przesyłane w sieci, zwielokrotnione, rozpowszechnione – nie ulegają żadnemu zniekształceniu. Pod warunkiem, oczywiście, że zniekształcenie nie jest efektem działania użytkownika lub wynikiem błędu. Powielany plik czy fragment danych, w swojej najbardziej podstawowej formie, pozostaje niezmienny i identyczny z oryginałem, jest on bowiem jedynie informacją, którą należy przepisać. Tu nasuwa się analogia do treści książki – poddana nowemu łamaniu i przedrukowana na innym papierze sama treść się nie zmienia. Plik cyfrowy, model wirtualny również jest niezmienny. Jego dokładność została matematycznie, precyzyjnie zdefiniowana i nie ma możliwości, aby któryś z punktów w momencie powielania nagle zmienił swoją pozycję, choćby o pomijalną, nieznaczną wartość.

W technologii druku przestrzennego fascynuje zetknięcie tego niewzruszonego, określonego, ale również nierzeczywistego pierwowzoru z jego późniejszą fizyczną manifestacją. Rezultat

realizacji (urzeczywistnienia) modelu wirtualnego zawsze pozostanie niedokładny, szacunkowy, zgrubny, dokładność będzie do pewnego stopnia ograniczona. Zmienną pozostanie jedynie rząd wielkości. Fizyczny obiekt okazuje się, jak w jaskini Platona, jedynie cieniem idei obiektu wirtualnego.

Powyższe stwierdzenie implikuje, że świat wirtualny jest światem idei, a każda jego fizyczna manifestacja – jedynie ograniczoną przez szereg czynników projekcją.

W wywiadach i artykułach o druku przestrzennym często przywołuje się powszechne przekonanie o możliwości otrzymania dokładnie tego samego obiektu w dowolnym miejscu na świecie, w ciągu zaledwie kilku, wymaganych przez proces, godzin, bez konieczności angażowania transportu. Wystarczy przesłać cyfrowy model za pośrednictwem Internetu, aby można było na własnym urządzeniu otrzymać żądany rezultat. Samej idei trudno zaprzeczyć, ale nie można też w pełni z nią się zgodzić, ponieważ, w najlepszym wypadku, uda nam się otrzymać co najwyżej dokładną kopię o takich samych wymiarach, funkcji, wykończeniu. Jednakże nawet w przypadku powielania tego samego modelu cyfrowego, w tym samym miejscu, na tej samej maszynie, stosując ten sam materiał z jednej partii, możemy być pewni zaistnienia różnic między poszczególnymi produktami końcowymi. Im większą kontrolę mamy nad samym procesem, tym różnice będą mniejsze, jednak trudno założyć, że zostaną zupełnie wyeliminowane, składa się na nie bowiem wiele czynników wewnętrznych i zewnętrznych.

Przede wszystkim – sam materiał nie jest w pełni jednorodny. Nieraz zdarzało się, że z tego właśnie powodu drukarka zaciniała się w trakcie pracy i konieczne było jej zatrzymanie, usunięcie problemu i wznowienie procesu. Nawet odrzucając tak skrajny przypadek, musimy mieć świadomość, że materiał, którego używamy, nie posiada jednorodnej struktury, choć producenci do tego dążą. Nierównomierne rozłożenie pigmentu, wahania średnicy „drutu”, pęcherzyki powietrza, zanieczyszczenia czy osiadający kurz – to wszystko wpływa na, zwykle niewielkie, ale jednak różnice pomiędzy otrzymywanymi rezultatami.

Trzeba mieć również na uwadze fizyczne ograniczenia samego urządzenia. Dość powiedzieć, że z każdym ruchem części mechaniczne ulegają zużyciu, a ich precyzja spada. Nowa część, zastępująca element zużyty, potrzebuje czasu na „dotarcie” zanim rozpocznie okres optymalnej pracy, charakteryzujący się najwyższą jakością i dokładnością. Po tym, niejednoznacznie określonym czasie, zacznie postępować powolna degradacja, a odchyłki będą się powiększać.



Blat roboczy, czyli tzw. stół, porysuje się od zdejmowania kolejnych, zbyt mocno przytwierdzonych modeli, może też ulec wyboczeniu wskutek działających na niego temperatur. Nawet różnice w prędkości przesyłania danych powodują czasem mikrosekundowe opóźnienia w ruchu elementów, których skutkiem jest inna już dystrybucja materiałów.

Na koniec warto wspomnieć, że większość tego typu maszyn nie posiada zamkniętych komór, które odgradzałyby je od czynników zewnętrznych, a więc tu także pojawia się duża możliwość wahań. Różnice temperatur, nadmierne chłodzenie wywołane przeciągami czy zmienna wilgotność powietrza wpływają na urządzenie i na materiał. Mogą one powodować szereg zmian w kolejnych powstających kopiach.

Wystarczy więc jedna kropla materiału umieszczona w niewłaściwym miejscu na warstwie grubości rzędu dziesiątych części milimetra, aby zaobserwować multiplikowane, powoli gasnące konsekwencje na kolejnych wyższych warstwach. Trudno oprzeć się tutaj porównaniu do zmarszczek na tafli wody wywołanych przez wrzucony kamień.

Jednak czy ten dualizm idei i jej cienia, nieosiągalnej perfekcji i jej urzeczywistnienia jest czymś niewłaściwym? W moim przekonaniu istnienie tej relacji poszerza rozumienie sztuki cyfrowej i zyskuje elementarną wartość w całym procesie. Ukazuje nam, że za każdym razem, gdy odbieramy dzieło multimedialne czy powstałe w wyniku kreacji cyfrowej, odbieramy jedynie jego konkretną reprezentację. Tak jak w przypadku niedoskonałości maszyny i materiału, tak w przypadku obrazu i dźwięku efekt finalny zależny będzie od zastosowanych aparatów. Pomimo usilnego poszukiwania standaryzacji i dążenia do perfekcji, świat rzeczywisty i jego piękna niedoskonałość odcisną swoje piętno na stworzonej przez artystę idei. Każda manifestacja wirtualnego, nieuchwytnego ideału, będzie tylko kolejnym, za każdym razem innym, cieniem.

Warto w tym miejscu zastanowić się nad rolą urządzeń addytywnych. Jako wykładnię do interpretacji ich znaczenia i roli w twórczości, można ekstrapolować teorię fotografii Viléma Flussera, który zdefiniował pojęcie aparatu, najpierw w kontekście fotograficznym, a później jako urządzenie w ogóle:

Narzędzie jest urządzeniem funkcjonującym zależnie od człowieka. Maszyna jest urządzeniem, którego funkcjonowanie uzależnia człowieka, a zatem jest to relacja

odwrotna. Aparat zaś jest urządzeniem, w którym relacja pomiędzy człowiekiem a urządzeniem jest odwracalna.<sup>41</sup>

We wcześniejszym rozdziale wykazałem, że urządzenia addytywne mogą funkcjonować na zasadzie maszyny, tj. „uzależniać człowieka”. Jednakże, w odróżnieniu od aparatu fotograficznego, urządzenie addytywne może też starać się przekroczyć granicę definicji *apparatusa*, nawet jeżeli nie całkownie, to na pewno na tyle, aby zmienić użytkownika z „funkcjonariusza”, „kontrolującego wyłącznie output i input aparatu, ale zdeterminowanego przez wnętrze czarnej skrzyni”<sup>42</sup>, w pełnoprawnego twórcę. Poznanie tego „wnętrza”, jego dokładna analiza i zrozumienie na wielu poziomach, w tym na poziomie technicznym, pozwala prowadzić niewerbalny dialog z programem. Już nie mówimy o walce przeciw, o której pisze Flusser, ale raczej o badaniu reakcji na zadania i bodźce. To właśnie zrozumienie ograniczeń i języka komunikacji odkrywa nieznane formy i wyrażenia, z którymi twórca może polemizować i z których może czerpać, zamiast ścierać się z ograniczeniami.

Technologia komputerowa przez wiele lat jawiła się jako nieprzystępna i hermetyczna, wymagająca specjalistycznej wiedzy i kwalifikacji. Rewolucja interfejsu wprowadzona przez komputery Apple i Steve’a Jobsa zmieniła diametralnie to postrzeganie i umożliwiła intuicyjne posługiwanie się urządzeniem. Od tej pory miał być to element codziennego życia, przedłużenie ludzkich zmysłów. Tak też się stało. Współcześnie możemy obserwować pełne zatracenie w bezrefleksyjnym konsumowaniu i tworzeniu treści. Jednak artyści i twórcy od wieków badali i uczyli się używanych przez siebie technologii, aby móc je w pełni zrozumieć i wykorzystać. Dlatego moja propozycja spojrzenia na druk przestrzenny wiedzie tą samą drogą, wymagającą spojrzenia na dualistyczny charakter procesu oraz, między innymi, wiedzy z pozornie nieprzystających obszarów nauk technicznych.

---

<sup>41</sup> E. Bonse, *The Adventure of the Future: Vilem Flusser’s Last Interview*, *European Photography*, 2001/2002, nr 2, t. 22, s. 11-13 za: P. Zawojski, *Człowiek i aparat. Vilema Flussera filozofia fotografii* w: V. Flusser, dz. cyt.

<sup>42</sup> V. Flusser, dz. cyt.

## 4. „Oblicza koła”. Opis części artystycznej rozprawy doktorskiej

Część artystyczną rozprawy doktorskiej stanowi cykl obiektów pt. „Oblicza koła”, będący kontynuacją rozważań na temat technologii FDM jako metody twórczej. Pierwsze skojarzenie związane z tytułem pracy odnosi się do wielorakich form obrazowania tej samej figury. Mniej oczywistą odstoną nazwy cyklu jest referencja do obliczeń matematycznych, które stanowią bazę wyjściową projektowanych form, nie mniej ważnych dla niniejszego wywodu.

Na „Oblicza koła” składają się trzy zbiory obiektów, wykonanych w technologii FDM przy wykorzystaniu białego filamentu PLA. „Zbiór 0.” składa się z 12 obiektów o wymiarach ok. 20 × 21 cm (szczegółowe wymiary mogą się różnić w zależności od struktury i detalu konkretnego elementu). Oznaczenie cyfrą „0” jest nawiązaniem do komputerowego, programistycznego sposobu numerowania, gdzie zawsze pierwszej pozycji przypisuje się taką wartość. Zabieg ten podyktowany był ambiwalentnym charakterem prac, które powstały w wyniku refleksji nad błędem urządzenia, dekonstruującym reprezentację koła, stanowiącą podstawę całego założenia. Dostrzegłem jednak w nich wartość artystyczną i dlatego postanowiłem włączyć do projektu.

„Zbiór 1.” składa się z 11 obiektów o wymiarach 20 × 21 cm. Stanowi on esencjonalną część poszukiwań, która dała podstawy pozostałym „Zbiorom”. To w nim ujawniają się omawiane znaczenia koła i to tu widać ewolucyjny postęp w matematycznym poszukiwaniu ideału. Także szczególne znaczenie, jakie w kulturze jest nadawane „pierwszemu” wiąże się z dążeniem do doskonałości.

Ostatnim jest „Zbiór 2.”, nazwany nieco przewrotnie, gdyż zawiera tylko jeden element o wymiarach 20 × 30 × 8 cm, powstały na bazie ostatniego obiektu, ze „Zbioru 1.”. Jednocześnie wyraźnie odróżnia się od pozostałych, bez wątplenia będąc przestrzenną formą. Również i tutaj znaczenie numeru nie jest przypadkowe. Drugi często jest synonimem kolejnego, następnego. Podobnie ten pojedynczy obiekt, choć mogący istnieć samodzielnie, w kontekście całego projektu zdaje się sugerować rozwinięcie w formie kolejnych i zapowiada przyszłe poszukiwania.

Forma wszystkich obiektów została oparta na kole, formie tak bliskiej i znanej każdemu, że niemal prozaicznej. Kształt ten odnajdujemy w wielu naturalnych zjawiskach. Koło jest pierwszym, archetypowym kształtem, jaki postrzega człowiek. Stanowi wzór dowolnej rzeczy, dowolnego przedstawienia w rysunkach dzieci. Jak pisze Rudolf Arnheim:

Koło, które przy swej centrycznej symetrii nie wyróżnia żadnego kierunku, jest dla oczu najprostszym wzorem. Wiadomo powszechnie, że przedmioty, które znajdują się zbyt daleko, żeby widać było ich charakterystyczną sylwetkę postrzegane są najczęściej jako okrągłe.

Kule, krążki i pierścienie, które stanowią kształt najbardziej nieokreślony, uniwersalny, dominują w dawnych modelach ziemi i wszechświata nie tyle dzięki obserwacji, ile dlatego, że nieznaną kształt lub nieznaną stosunki przestrzenne przedstawiane są w możliwie najprostszym sposób.<sup>43</sup>

Koło jest zatem intuicyjnym wyborem formy w sytuacji, kiedy chcemy przedstawić nieznaną, transcendentną rzecz czy istotę rzeczy w ogóle. Nawet wówczas, gdy rzecz ta jest jeszcze niedookreślona, „znajduje się zbyt daleko”, koło wydaje się odpowiednim wyborem. Koło jest ponadto jedno i wyróżnia się na tle pozostałych figur. W trakcie przygotowywania części artystycznej rozważałem też inne scenariusze. Kiedy jednak pomyślałem o trójkącie, pojawiało się pytanie – dlaczego nie kwadrat? Kiedy znów o kwadracie – dlaczego nie pięciokąt, dlaczego i tu się zatrzymywać? Figur foremnych jest przecież nieskończenie wiele. Jednak wszystkie one zbiegają i znajdują swoją granicę w tej jednej – w kole, które, można powiedzieć, jest wielokątem foremnym o nieskończonej ilości boków.

Koło jest również nośnikiem wielu znaczeń. Jak podaje Carl Gustav Jung, „sanskryckie słowo *mandala* znaczy *koło*”<sup>44</sup>, zaś Mircea Eliade dopowiada: „dosłownie *krąg*; tybetańskie przekłady oddają go raz przez *centrum*, kiedy indziej przez *to co otacza*”<sup>45</sup>. Jak widać, intuicyjne rozumienie figury może zostać rozszerzone przez jej głębszą analizę. W tym kontekście koło,

---

<sup>43</sup> R. Arnheim, *Sztuka i percepcja wzrokowa. Psychologia twórczego oka*, Oficyna, Łódź 2013.

<sup>44</sup> C.G. Jung, *Mandala. Symbolika człowieka doskonałego*, przeł. M. Starski, Wydawnictwo Brama – Książnica Włoczęgów i Uczonych, Poznań 1993.

<sup>45</sup> M. Eliade, *Joga. Nieśmiertelność i wolność*, przeł. B. Baranowski, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1984.

którego wewnątrz nie jest puste, a więc sama figura nie jest okręgiem, może kierunkować się do wnętrza, jak w przypadku omawianych obiektów. Jednak już nie tak jasne i intuicyjne będzie rozumienie okręgu, czyli linii o kolistym kształcie wydzielającej jakiś obszar z powierzchni. Co prawda, intuicyjnie „obszar obwiedziony kreską sprawia wrażenie, jak gdyby był gęściejszy i ściślejczy od obszaru na zewnątrz”<sup>46</sup>, jednakże zmiana kontekstu, kompozycji czy układu barw może powodować wrażenie tak odmienne, że koło czy kontur zwraca bardziej uwagę na „to, co go otacza”.

Przyjęta przeze mnie forma zyskuje kolejne znaczenia po przestudiowaniu kulturowych interpretacji koła. Mandala to diagram geometryczny, krąg, który według psychologii jest wizualizacją syntezy przeciwieństw: zewnątrz – wewnątrz, zróżnicowania – unifikacji, mnogości – jedności; wyraża „ideę bezpiecznego refugium, pojednania wewnętrznego i Całkowitości.”<sup>47</sup>. Jak pisze Jung: „coś podobnego oznacza ono również w alchemii, przedstawia bowiem zjednoczenie czworga przeciwnych elementów,”<sup>48</sup>. Mandale istnieją w kulturze wschodniej Azji, zarówno w buddyzmie, jak i w hinduizmie, a bardzo zbliżone formy można znaleźć nawet w twórczości rdzennych plemion Ameryki, „w malowidłach na piasku, używanych w obrzędach Indian Pueblo i Nawahów”<sup>49</sup>. Nie są one również obce kulturze zachodniej:

[...] i u nas mandale licznie pojawiają się w średniowieczu. Szczególnie wczesne średniowiecze bogate jest w chrześcijańskie mandale; w większości przedstawiają one w środku Chrystusa, a w punktach kardynalnych czterech ewangelistów lub ich symbole.<sup>50</sup>

Mandala stanowi zatem archetyp, „pewien często występujący aspekt instynktu, jak on dany *a priori*”<sup>51</sup>. Zdaje się to potwierdzać historia sięgająca czasów paleolitycznych i przedstawień spiralnych, z którymi często są kojarzone, oraz pojawianie się ich „w rysunkach umysłowo

---

<sup>46</sup> R. Arnheim, dz. cyt.

<sup>47</sup> C.G. Jung, *Archetypy i nieświadomość zbiorowa*, przeł. R. Reszke, Wydawnictwo KR, Warszawa 2011.

<sup>48</sup> tamże.

<sup>49</sup> C.G. Jung, *Podróż na wschód*, Wydawnictwo Pusty Obłok, Kraków 1989.

<sup>50</sup> tamże.

<sup>51</sup> C.G. Jung, *Archetypy...*, dz. cyt.

chorych, i to u osób nie mających z pewnością najmniejszego pojęcia o związkach, o których tu mówiliśmy”<sup>52</sup>.

Pomimo przepastnej różnicy technologicznej, proces powstawania mandali i kolejnych obiektów w ramach „Oblicz koła” rodzi szereg paraleli. Choć proces tworzenia mandali jest bardzo zróżnicowany, w zależności od celu i regionu, można również dostrzec pewne wspólne cechy. Przede wszystkim każdy z tych procesów jest czynnością medytacyjną, wymagającą skupienia, wprowadzającą w trans czy wręcz mającą charakter magiczny, niezależnie od przyjętych technik: czy będzie to rysunek na płaskim terenie wykonany przy pomocy sznurów lub barwionej mąki ryżowej<sup>53</sup>, rysunek kredą na podłodze kruchty świątyni<sup>54</sup>, czy usypywanie misternych wzorów z kolorowego piasku. Zwłaszcza jeśli przywołamy to ostatnie doświadczenie, łatwo dostrzeżemy hipnotyczny i medytacyjny charakter działania, w którym akompaniament szumu metalowych, ząbkowanych lejków pocieranych narzędziem dopełnia doświadczenie wizualne. Warto dodać, że w kulturze buddyzmu tybetańskiego mandala jest celem pośrednim, esencję stanowi towarzyszący jej proces tworzenia i późniejszego niszczenia oraz wszystkie doświadczenia, które się z tym wiążą.

Proces druku w technologii FDM również ujawnia hipnotyzującą pracę urządzenia, a także – w zestawieniu z powyższym – odsłania kolejne znaczenia i poziomy interpretacji. Mandala ma wszakże służyć procesowi, pozwolić na skupienie i medytację. Kiedy obserwuje się pracującą drukarkę, poruszającą się przy dźwiękach silników krokowych głowicę, trudno oderwać wzrok od tego jednostajnego, harmonijnego ruchu powodującego dokładanie kolejnych elementów. Jest to doświadczenie na tyle silne, że wiele osób odwiedzających pracownię reaguje przynajmniej chwilowym „ukłonem” w kierunku urządzenia. Jest w tym procesie coś hipnotyzującego. Tak, jak mandala ma godzić ze sobą dualizmy, tak tutaj koło łączy starożytne symbole i rytuały i przenosi je do współczesnego, stechnicyzowanego świata.

---

<sup>52</sup> C.G. Jung, *Podróż na wschód*, dz. cyt.

<sup>53</sup> M. Eliade, dz. cyt.

<sup>54</sup> C. G. Jung, *Mandala. Symbolika człowieka doskonałego*, przeł. M. Starski, Wydawnictwo Brama – Książnica Włoczęgów i Uczonych, Poznań 1993.

Matematyczna definicja określa koło jako „zbiór punktów płaszczyzny, których odległość od środka koła jest mniejsza bądź równa [promieniowi – przyp. aut.]  $r$ ”<sup>55</sup>. Jednakże nawet bez niej potrafimy sobie owo koło wyobrazić, zwizualizować czy narysować jego przedstawienie. W przypadku próby odwzorowania geometrycznego ideału w rzeczywistym świecie, uzyskujemy jedynie przybliżenie, umowną reprezentację. Tak prosty gest, jak próba wykreślenia okręgu przy pomocy cyrkla, skutkuje jedynie przybliżonym pierścieniem o skończonej dokładności i mierzalnej szerokości.

W „Obliczach Koła” koło zostaje sprowadzone do zbioru punktów. Pojęcie punktu, podobnie jak koła, jest całkowicie intuicyjne, powszechnie obecne w naszej kulturze. Kiedy słyszymy o punkcie, bez zastanowienia wyobrażamy sobie kropkę, znak „X” lub niewielki krzyżyk umieszczony na mapie albo na płaszczyźnie geometrycznej, np. w układzie współrzędnych. Punkt zdaje się być czymś oczywistym, związanym z odpowiedzią na pytanie „gdzie?”. Jednak, zgodnie z matematyczną definicją, nie odpowiada obecnością, a jedynie wskazaniem położenia. Fizycznie i matematycznie punkt nie posiada wymiaru, średnicy, czy dowolnej innej cechy, poza lokalizacją. Mimo to postrzegamy go często w kategoriach czegoś, do czego dążymy albo czegoś, do czego coś dąży. Punkt może być także rozumiany jako zakończenie czegoś, granica, skończoność.

Jednak zapytani o przedstawienie punktu nie jesteśmy w stanie zobrazować go sobie inaczej, niż przez wyobrażenie jakiegoś, dowolnego, najczęściej jednego z wyżej wymienionych, kształtu geometrycznego. Kandinsky pisze, iż „punkt jest rezultatem pierwszego zetknięcia się narzędzia z materialną płaszczyzną”<sup>56</sup>. W jego ujęciu punkt staje się materialny. Materialność nadaje mu działanie artysty. Oczywiście, kierując się ściśle matematycznymi czy geometrycznymi definicjami, musielibyśmy powiedzieć, że Kandinsky się myli. Nie mówi w gruncie rzeczy o punkcie, a o plamie, o kształcie, o czymś, co pretenduje do pojęcia punktu, ale zupełnie nim nie jest. Lata zainteresowania matematyką, fizyką i naukami ścisłymi istotnie nie pozwoliły mi zgodzić się ze stwierdzeniem Kandinskiego w momencie czytania jego słów. Jednak wystarczyła krótka refleksja, aby zdać sobie sprawę, że teoria matematyczna mówi często o rzeczach abstrakcyjnych. Jedynie próba jej przedstawienia przy wykorzystaniu uproszczeń i metafor jest w stanie przekazać w niej zawarte treści. Podobnie rzecz ma się

---

<sup>55</sup> *Tablice matematyczne*, red. Witold Mizerski, wyd. V zaktual., Wydawnictwo Adamantan, Warszawa 2002, s. 165.

<sup>56</sup> W. Kandinsky, *Punkt i linia a płaszczyzna. Przyczynek do analizy elementów malarskich*, Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa 1986.

z formą i treścią w sztuce. Ta pierwsza, często w przekazie pozawerbalnym, wyraża mnogość treści i znaczeń dzięki tej drugiej. O ile czasami trudno jest nam zrozumieć mowy przywódców duchowych, etyków czy filozofów, o tyle te same treści przedstawione obrazowo, w formie metafory czy przypowieści, pojmujemy niemal bezbłędnie i przyjmujemy jako swoje. Łatwo nam wówczas dostrzec sens przekazu i wyjść poza konkretny przykład ekstrapolując go na szeroki zakres doświadczenia. Gdyby było inaczej, przypowieści biblijne, bajki i mitologie stałyby się dla nas jedynie ciekawymi opowiastkami. Rzecz ma się podobnie z pojęciem punktu, koła czy geometrią i matematyką w ogóle: ani punkt, ani odcinek (który nie ma szerokości), ani sfera (która jest jedynie powłoką, powierzchnią bez jakiegokolwiek grubości) istnieją w umyśle przeciętnego człowieka jako coś „materialnego”. Czy zatem nie warto podejmować próby przedstawienia? Wręcz przeciwnie. Heidegger stwierdza, że dzieło „zaznajamia z czymś Innym, objawia coś Innego, jest alegorią”.<sup>57</sup> Sztuka staje się tym, co może przekazać nie tylko abstrakcyjne idee, ale także poszerzyć ich sens.

Zastępujemy te wszystkie abstrakcyjne pojęcia konstruktami obrazowymi i wyobrażeniami, których mogliśmy doświadczyć taktylnie, na które możemy patrzeć, posmakować ich, poczuć ich woń. Wreszcie – nawet usłyszeć ich dźwięk, brzmienie, czego zdaje się doświadczać Kandinsky, gdy pisze o kompozycji. Jednakże wobec tak abstrakcyjnego, niematerialnego pojęcia zmuszeni jesteśmy do ustępstw, tak jak w przypadku gestu wykreślenia okręgu przy pomocy cyrkla. Stąd przyjęcie rozmiaru punktu o średnicy dyszy drukującej. Założenie to jest próbą znalezienia uzasadnionej reprezentacji abstrakcyjnego pojęcia w rzeczywistości. W niniejszej pracy punkt został przedstawiony materialnie. Nie sposób wyobrazić go inaczej, niż przez jego fizyczną reprezentację. W tym wypadku punkt manifestuje obecność materiału – wyekstrudowanego tworzywa w danym położeniu.

We frazeologii znajdujemy, m.in., punkt zwrotny i punkt widzenia, w fizyce przemian fazowych substancji: punkt potrójny. Każde z tych wyrażeń określa punkt jako ścisłe, nieskończone małe, precyzyjnie zdefiniowane i ostateczne miejsce czy położenie. Jako swego rodzaju granicę, ekstremum, *limes*. Jako wierzchołek trójkąta, poza którym płaszczyzna przestaje być trójkątem, a zaczyna być czymś nieokreślonym. Punkt staje się w pewien sposób granicą, ale nadal ciąży na nim brak wymiaru. Można też punkt osiągnąć. Punkt jest zjawiskiem oczywistym w świecie geometrii i matematyki. Można powiedzieć, że stanowi tam

---

<sup>57</sup> M. Heidegger, *O źródle dzieła sztuki*, Sztuka i filozofia 5, 9-67, 1992.



praelement, fundament tej rzeczywistości. Nie można wszak płaszczyzny, czy przestrzeni geometrycznej, podzielić na cokolwiek mniejszego niż punkt. Skoro jego wymiar jest tak nieskończenie mały, że nieistniejący, dowolna płaszczyzna czy przestrzeń mieści ich nieskończenie wiele. Pozostaje tam wciąż wirtualny. Jednak właśnie urzeczywistnienie punktu w naszym świecie, czy to malarskie, o jakim pisał Kandinsky, czy choćby wirtualnie wyobrażeniowe, wydaje się stanowić dla nas zagadkę. Idea, matematycznie perfekcyjna, niezmienna i replikowalna, w świecie rzeczywistym zyskuje cechy, które ją redukcją. Zubażają jej treść i to, co ze sobą niosła, tj. ściśle określone położenie, gdyż w momencie urzeczywistnienia traci ono swoją nieskończoną dokładność. W chwili bowiem, gdy punkt zyskuje wymiar fizyczny, większy niż jego absolutny brak, wkrada się niejednoznaczność, dowolność. Jakie mogą być zatem współrzędne punktu będącego obszarem, plamą, bryłą? Gdzie dokładnie się znajduje? Przestaje być matematycznym, wirtualnym konstruktem, a unaocznia się jako reprezentacja, metafora.

Gdybyśmy chcieli wyobrazić sobie punkt, większość z nas zobrazowałaby go sobie być może, jak pisze Kandinsky, jako „nieskończenie mały i idealnie okrągły. Jest on właściwie najmniejszym kołem.”<sup>58</sup> Ta ostatnia definicja w interesujący sposób zamyka kompozycję obiektów. Składają się one bowiem z punktów; w wersji matematycznej – z nieskończonej ich ilości, a w omawianej fizycznej – z 1024. Wobec tego koło, które powstaje w procesie druku, samo składa się z mniejszych kół. Zbiór wszystkich punktów płaszczyzny, będący okręgiem, zawiera tysiące, a może dziesiątki czy setki tysięcy mniejszych okręgów. Ujmuje mnie abstrakcyjność pojęć. To, co stanowi pierwiastek, atom, część, jest jednocześnie reprezentacją całości. O ile nie fizycznie, o tyle ideowo, poruszając się na styku sztuki i nauki. Można by się dopatrywać związku z naturą fraktali, która stanowi o ich samopodobności.

Wspomniane już 1024 punkty nie pojawiły się przypadkowo. Ich położenie zostało ściśle określone przez matematyczne działanie. W metodzie można znaleźć analogie do twórczości Ryszarda Winiarskiego, który o swojej twórczości pisze następująco:

Przystępując do budowania obrazu czy obiektu [...] ustalam przede wszystkim reguły postępowania, reguły gry, a potem zapraszam przypadek do udziału w realizacji. Źródłem losu może być moneta, kostka do gry, ruletka, tablica liczb przypadkowych

---

<sup>58</sup> W. Kandinsky, dz. cyt.

czy wreszcie odpowiednio zaprogramowany komputer. Na powierzchni czy w przestrzeni odbywa się specyficzna rozgrywka poddana prawom logiki przypadku.<sup>59</sup>

W swojej twórczości w podobny sposób wykorzystuję program komputerowy, który działa w granicach przyjętych założeń. Początkowo algorytm posługuje się funkcją opisującą okrąg o danych parametrach – tj. o średnicy 20 cm i środku w połowie szerokości i wysokości stołu roboczego – w celu ustalenia współrzędnych wszystkich punktów. Następnie, na bazie tych danych, według reguły wybierane są losowo poszczególne punkty, które głowica będzie odwiedzać tak długo, aż stworzy kompletną reprezentację geometrycznej figury. Ich ilość wynika bezpośrednio z przyjętych parametrów fizycznych (m.in. zastosowanej dyszy 0.60 mm i średnicy koła 200 mm) i wynosi dokładnie 1024 (czyli  $2^{10}$ ).

## „Zbiór 0.”

12 obiektów z serii „Zbiór 0.” powstało jako wybrane przykłady dekonstrukcji idei koła-mandali. W trakcie prac nad poszukiwaniem optymalnych parametrów zaobserwowałem zmienność form, która była skutkiem niewłaściwego przygotowania modelu oraz doboru parametrów druku. Oderwane włókna, przesunięte obiekty czy zmiana temperatury skutkowały pojawieniem się form, które odbiegały znacząco od założeń. Rutynowym działaniem w takiej sytuacji jest zatrzymanie urządzenia, usunięcie uszkodzonego elementu i ponowne rozpoczęcie druku. Przy realizacji wydruków brytowych w szczególnych przypadkach może zdarzyć się, że nawet pomimo dużego uszkodzenia druk może być kontynuowany, jednak oczywiście pojawi się widoczna pozostałość po incydencie.

Zdecydowałem jednak o kontynuowaniu wydruku. Pierwsze zaobserwowane efekty okazały się na tyle inspirujące, że postanowiłem podjąć próbę kontroli pojawiającej się przypadkowości. Dzięki manipulacji parametrami druku, tj. temperaturą, prędkością oraz ilością ekstrudowanego materiału, mogłem do pewnego stopnia kontrolować zamierzony efekt. Parametry te wywierały wpływ na grubość linii, jej ciągłość, a także na przytwierdzenie do stołu roboczego, co przekładało się z kolei na podatność na zerwania i deformacje.

---

<sup>59</sup> R. Winiarski, Katalog wystawy *Aspekty Nowoczesnej Sztuki Polskiej*, Warszawa 1975.

Na formę wpływa bezpośrednio charakter procesu addytywnego i właściwości fizyczne wykorzystywanych materiałów. Ograniczenia, takie jak konieczność przytwierdzenia wydruku do sztywnej powierzchni i utrzymania wysokości poniżej grubości aktualnie drukowanej warstwy, stwarzają pole do polemiki z programem w rozumieniu Flusserowskim, a nawet do gry przeciwko niemu, jeżeli przyjmiemy, że jednym z programów maszyny jest uzyskiwanie jak najlepszych reprodukcji modelu cyfrowego. Sytuacja działania wbrew wymaganiom i optymalizacji technicznej pozwala na wniknięcie w naturę procesu, sensu realizacji i nadania mu nowych znaczeń. W przypadku, gdy działamy wbrew programowi, np. poprzez kod nakazujący podawanie ilości materiału zbyt małej dla uzyskania odpowiedniego przytwierdzenia do stołu roboczego, musimy założyć, że nie zostanie on w pełni zrealizowany. W takiej sytuacji poszczególne linie będą luźno zawieszonymi w przestrzeni włóknami, a ich podatność sprawi, że każdy ruch głowicy będzie niósł potencjał zniszczenia. Jak widać na przedstawionych przykładach, nie jest to obawa bezpodstawna, a pojedynczy błąd może skutkować niemal całkowitą ruiną. Mała ilość podawanego materiału może też okazać się niewystarczająca dla zachowania ciągłości linii w sytuacjach, gdy głowica przecina istniejące włókno. Linia wówczas jest rozciągana aż do jej zerwania, a podążająca głowica, nie znajdując miejsca zaczepienia, ekstruduje materiał, który osiadzie przy najbliższym napotkanym włóknie. To z kolei spowoduje kolejne potencjalne zagrożenie, gdyż swobodnie zawieszone, stygnące tworzywo wywija się ku górze stwarzając punkt kolizyjny.

We wspomnianych przypadkach nastąpi fizyczne zniszczenie modelu. Głowica pociągnie za sobą fragment rozrywając misterną siatkę i powodując aberrację w tkance. Bardzo prawdopodobne jest też, że pierwsze uszkodzenie wywoła swoistą reakcję łańcuchową przez nawarstwianie i przemieszczanie uszkodzonych elementów. Gra przeciwko programowi przyniosła zatem spodziewane skutki. Czy była to jedynie pusta gra, aby osiągnąć pożądany efekt przy zmienionych zasadach? Co uzyskałem w zamian?

Przypadkowe zniszczenie drastycznie ingeruje w formę, jednocześnie zmieniając sens utworu. Harmonijne obiekty wirtualne stanowią w tym wypadku punkt wyjściowy dla ostatecznego gestu. Model pozostaje możliwy do odczytania na podstawie fragmentów i śladów, jednak formalny wyraz mocno odbiega od pierwowzoru. Istnienie koła, jako źródła, można odczytać z pozostałych łuków i układu pojedynczych punktów. Harmonijna, geometryczna forma uległa jednak dekonstrukcji.

Widoczną zmianą jest uprzestrzennienie. Reliefowe obiekty transformują się w abstrakcyjne przestrzenne konstrukcje, przywołując skojarzenia z krajobrazem czy architekturą. Falujące, skręcone i zawinięte powierzchnie przywodzą na myśl bryły futurystycznych budynków i pawilonów, czy syntetycznych pejzaży. Forma otwiera się, zawłaszczając przestrzeń. Przystaje być zamkniętą, skierowaną do wewnątrz, płaszczyznową kompozycją, a staje się kadrem szerszego ujęcia.

Niezależnie od przywoływanych skojarzeń, unaocznia się techniczny charakter urządzenia. Koronkowa, misternie tkana struktura jest bezbronna wobec nieustępliwej, nieświadomej siły drzemiącej w maszynie. Podążając ślepo za wydawanymi poleceniami nie kontroluje ona efektów, a jedynie dąży do wykonania kolejnej linii kodu. Krucha wobec niej materia musi się poddać. Wyrwa się z płaszczyzny, stwarzając dalsze zagrożenie. Nawarstwiająca się odkształcenia prowadzą do kolejnych i kolejnych, do tego stopnia, że zaczynają kolidować z zaplanowaną pracą urządzenia. Tu najbardziej manifestuje się jego siła – pomimo przeszkód, głowica dąży w zaprogramowanym kierunku. Rozgrzany blok roztapia po drodze cienką siatkę włókien, spajając je ze sobą i tworząc coraz trwalsze, gęstsze elementy. Aż do momentu, w którym wytrzymałość takiego elementu skutecznie stawia opór głowicy i ta musi ustąpić. Wówczas urządzenie traci dotychczasową koordynację i dalsza część jest realizowana z przesunięciem.

O linii Kandinsky pisze:

Geometryczna linia jest niewidoczna. Jest śladem poruszającego się punktu, skutkiem jego przesuwania się. Powstaje z ruchu przez zniszczenie bezwładności punktu, absolutnego stanu jego spoczynku, a tym samym przez przeskoczenie ze statyki w dynamikę.<sup>60</sup>

W kontekście tych słów można inaczej spojrzeć na omawiane obiekty. W teorii Kandynskiego pod wpływem zewnętrznej siły punkt zaczyna poruszać się i dzięki temu ruchowi staje się linią. Jeżeli sił jest więcej, wpływają one na kształt i ciągłość linii. W przypadku omawianych obiektów siła, którą oddziałuje urządzenie, nie porusza punktem czy obiektem (pomijając skrajne przypadki), ale przez złamanie schematu i regularności formy zwraca uwagę na ich

---

<sup>60</sup> W. Kandinsky, dz. cyt.

linearną budowę. To właśnie linia, z całym bogactwem form, zaczyna odgrywać w nich główną rolę. Staje się łącznikiem pomiędzy punktami na obwodzie. Rwie się, płące, uprzestrzenia. Wreszcie, w jednym z przykładów, stanowi zupełnie swobodną i organiczną wariację. Linie i punkty stapiają się ze sobą, przez co uszkodzone fragmenty tworzą plamy w kompozycji, stwarzając analogię do rysunku i kreskowania użytego w celu reprezentacji bryły na płaszczyźnie.

Statyczne obiekty, w których linia była jedynie elementem składowym, tworzącym kształt, ujawniają swoją zawartość. Zmieniają pierwotny wyraz, zyskując dynamikę przez wyeksponowanie linii w jej szerokim spektrum form.

## „Zbiór 1.”

Cykl prezentowanych obiektów oparty jest o przedstawioną wcześniej regułę i prezentuje proces matematycznego uszczegóławiania i porządkowania – od losowości do zaprogramowanej organizacji. Każdy z kolejnych reliefów powstał przez podział okręgu na odcinki koła, których ilość zwiększa się wykładniczo, odpowiadając kolejności obiektu, w zakresie od 0 do 10 zachowując podstawę 2. Algorytm wybiera losowe punkty w każdym z odcinków, tworząc 11 wariacji na temat abstrakcyjnego pojęcia. I tak, w przypadku, gdy  $2^0 = 1$ , program korzysta ze wszystkich dostępnych punktów tworząc losowy rysunek. W przypadku, gdy  $2^1 = 2$ , otrzymujemy jasny podział koła na dwa półkola. Pomimo przypadkowego charakteru nanoszonych linii, będących śladem przemieszczania głowicy drukującej z punktu do punktu, zauważalne stają się dwa bieguny, w których zagęszczenie jest dominujące. Kolejna iteracja  $2^2 = 4$ , podobnie jak  $2^3 = 8$  i  $2^4 = 16$ , ujawnia ukrytą geometrię. Wyraźnie dostrzegalne stają się dążące do regularności wielokąty pojawiające się wewnątrz nabudowywanej struktury. W kolejnych obiektach zanika wewnętrzne wypełnienie, a detal ogranicza się do artykulacji krawędzi okręgu. Także podczas druku widać przeniesienie ciężaru procesu z nanoszenia linii wewnątrz obrysu na wielokrotne podążanie uszczegóławiającym się zewnętrznym obrysem. Ostatni obiekt  $2^{10} = 1024$  dzieli okrąg na 1024 odcinki. Przybliżeniem odcinka staje się punkt, który przyjąłem jako reprezentację abstrakcyjnej idei, prowadząc do jednostajnego ruchu głowicy po okręgu. W efekcie powstaje spektrum form rozpiętych pomiędzy dwiema figurami geometrycznymi – kołem i okręgiem.

Jako podstawę obliczeń przyjęto liczbę 2 ze względu na jej ścisły związek z charakterem utworu. Stanowi ona podstawę cyfrowej rzeczywistości, która opiera się jeszcze<sup>61</sup> na systemie binarnym. Podstawę 2 znajdujemy we wszystkich (niepoprawnie, ale powszechnie używanych) przedrostkach *kilo*, *mega*, *giga* w środowisku komputerowym, które nie odpowiadają dokładnie ich reprezentacjom dziesiętnym, a dokładnie potęgom  $2^{10}$ ,  $2^{20}$ ,  $2^{30}$ . Dwójka odwołuje się też do dualizmu, który stale towarzyszy twórczości osadzonej w środowisku cyfrowym, a znajdującej swoją manifestację w rzeczywistości fizycznej. Dualizm oraz „czwórca” i jej wielokrotności stanowią też formalne elementy symboliki mandali wyszczególnione przez Junga<sup>62</sup>, a w szczególnym przejawie  $2^2 = 4$  łączą się z *quadratura circuli*.

Rolę przypadku i losowości można postrzegać w zależności od kontekstu. Czy przypadek istnieje? Jeżeli tak, z reguły jest postrzegany w zależności od kultury i religii. Jednego można być pewnym: w algorytmach komputerowych losowość stanowi jedynie namiastkę przypadku. Liczby losowe są generowane przez równania bazujące na zmiennych (takich jak aktualna data, godzina czy nanosekunda), nie są one jednak w pełni losowe, a jedynie sprawiają takie wrażenie i w wielu zastosowaniach jest to wystarczające. Jaki jednak byłby rezultat, gdybyśmy chcieli uzyskać komputerowo efekt całkowitej losowości? Czy jest to możliwe? Firma Cloudflare posługuje się metodą, która generuje liczby losowe w oparciu o obraz z kamery rejestrującej ścianę z lampami „lava lamp”, znajdującą w siedzibie w San Francisco.<sup>63</sup> Właściciele mówią o losowości, ponieważ nie da się przewidzieć ruchu charakterystycznej substancji we wnętrzu lamp, zwłaszcza w takiej ilości. Ponadto zmienną stanowi także rejestrowany obraz, tj. konkretna wartość odebrana i zapisana przez pojedynczy piksel kamery. Zmiennych wpływających na daną wygenerowaną wartość jest mnóstwo. Algorytmu nie zaburzy nawet wyłączenie czy awaria którejs z lamp, a na rezultat wpłynie zmiana pogody powodując różnice w oświetleniu. Jednak czy jest to prawdziwa losowość? Na pewno jest to losowość, której jeszcze nie potrafimy precyzyjnie opisać, a przez to uporządkować. Zbyt wiele czynników, których nie jesteśmy w stanie symulować czy okiełznać teoriami matematycznymi i fizycznymi, może wpłynąć na finalny rezultat. Jest to zmienność

---

<sup>61</sup> Zmianę tej relacji mogą przynieść w niedalekiej przyszłości komputery kwantowe albo komputery DNA (biokomputery). Jednak z racji na marginalne znaczenie praktyczne i znajdowanie się jeszcze w fazie pierwszych odkryć i eksperymentów, trudno mówić o przeniknięciu tych znaczeń do świadomości odbiorców i twórców.

<sup>62</sup> C.G. Jung, *Mandala...*, dz. cyt.

<sup>63</sup> J. Liebow-Feeser, *LavaRand in Production: The Nitty-Gritty Technical Details*, 2017.11.06, <https://blog.cloudflare.com/lavarand-in-production-the-nitty-gritty-technical-details/>, dostęp: 2017.12.28.

na tyle nieodgadniona, że możemy ją przyjąć za całkowicie losową, przypadkową. Sens losowości i jej nieprzewidywalności determinują zjawiska fizyczne, jako zbyt dalece skomplikowane dla naszej percepcji i aparatu opisu rzeczywistości. Nie bez powodu jako jeden z czynników losowości w laboratoriach wykorzystuje się, obok obliczeń komputerowych, odczyty aparaturowe badające aktywność pierwiastków promieniotwórczych. Jedynie fizyczny świat, jako zbyt złożony i nieprzewidywalny, jest w stanie zapewnić element przypadkowości. Postrzeganie przypadku w prezentowanych obiektach najtrafniej podsumowuje zdanie Ryszarda Winiarskiego: „przypadek podniosłem aż tak wysoko, gdyż chciałem uszanować reguły życia...”<sup>64</sup>

W tym rozróżnieniu dopatruję się różnic między cyfrowym modelem a jego realną manifestacją. Wirtualność, w swojej nieskończonej dokładności i niezmienności, pozostaje pięknie idealna. Jej cechą jest niezakłócona reprodukowalność. Realna manifestacja świadczy zaś o jednostkowych właściwościach, uwarunkowaniach, które wpłynęły na to konkretne zaistnienie i które nie mogą zostać w żaden inny sposób powtórzone. W moment urealnienia cyfrowego modelu wkrada się fizyczność i nieprzewidywalność życia ze wszystkimi jego walorami.

## „Zbiór 2.”

Ostatnim elementem części artystycznej rozprawy doktorskiej jest obiekt oparty na potędze 2<sup>10</sup>. Wydrukowany okrąg został zniekształcony przez podniesienie zatrzymanej na ostatnim punkcie głowicy. Rozgrzany do temperatury 65°C stół utrzymywał tworzywo w plastycznym stanie, przez co uniesienie głowicy spowodowało jego deformację.

Uzyskana forma charakteryzuje się wyjątkową zmiennością, zależną od oglądanego profilu. Oparty na okręgu kształt w wyniku działania sił został zniekształcony. Zachował przy tym swoją charakterystyczną linearność. Przestrenny obiekt zdaje się dotykać rzeczywistości płaskiej i przestrzennej: z jednej strony – zakorzeniony w reliefowym rysunku koła/okręgu, płaskiej figury, której jedynie proces przedstawienia nadał pewną grubość, z drugiej zaś – wyciągnięty przez zewnętrzną siłę, wręcz zdeformowany, być może uszkodzony. Jednak to wyciągnięcie ujawniło dodatkowe profile. Koło stało się stożkiem. Dzięki linearnej

---

<sup>64</sup> Z. Taranienko, *Dialogi o sztuce*, Państwowy Instytut Wydawniczy, Akademia Sztuk Pięknych, Warszawa 2004.

konstrukcji możemy bryłę odczytywać zarówno płasko, jak i przestrzennie. I właśnie to przestrzenne odczytanie płaskiej linii powoduje skojarzenie z bryłą stożka. Działanie zewnętrznej siły jest niemal wizualizacją sił, o których mówi Kandinsky. Nie wspomina on, co prawda, o deformacji, o wpływie na istniejącą formę, a o działaniu na przesuwający się punkt, jednak analogia jest bardzo czytelna. Siła, działająca punktowo, niemalże w początku okręgu, uniosła go do góry, rozciągając istniejące łuki do postaci odcinków – linii prostych. Jednocześnie złamaniu uległa pierwsza linia pojawiająca się przy drukowaniu obiektu – pozostałość procesu technicznego. Zazwyczaj niemal styczna, towarzysząca kołu, tutaj staje się rachityczną podporą stożka, a w pewnych profilach – rysunkowym przedstawieniem jego geometrycznej wysokości.

Istotnym wydaje się, że deformacja nie przebiegła bez śladu. Konieczność usunięcia elementu z głowicy wymusiła ponowne jej rozgrzanie, przez co powstała charakterystyczna, postrzępiona, zwężająca się ku górze linia. Rozgrzana głowica pociągnęła za sobą odrobinę materiału, pozostawiając włóknisty ślad. Pomimo bardzo precyzyjnego urzeczywistnienia koła, znowu do głosu powrócił punkt. Punkt, od którego wszystko się zaczęło i w którym wszystko się skończyło.

To charakterystyczne zakończenie, w formie niedopowiedzenia, otwarcia, rozciągnięcia, wydaje mi się być w pewnym sensie symptomatyczne. Obiekt przytwierdzony do głowicy stałby się tylko zbędnym elementem, błędem, odpadem, który należy usunąć, aby móc kontynuować pracę. Jednak uwolnienie go pozwoliło na powstanie zupełnie autonomicznego, znaczącego utworu, który niesie nowe – w porównaniu do poprzednich – treści.

Przewiduję prezentację „Zbioru 0.” i „Zbioru 1.” na czarnych, kwadratowych płytach o boku 40 cm mocowanych na ścianach w układzie sekwencyjnym. „Zbiór 2.” zostanie umieszczony na identycznej płycie wspartej na 4 stalowych nogach. „Oblicza koła” nie były dotąd upublicznione w przestrzeni galeryjnej, stąd brak dokumentacji fotograficznej ujęcia całościowego ekspozycji.



## Podsumowanie

Czy obiekt cyfrowy może nas poruszać na równi z tradycyjnymi dziełami sztuki? Czy trójwymiarowy, przestrzenny model ma szansę wywołać w odbiorcy emocjonalne poruszenie lub wysublimowane doświadczenie estetyczne? Czy może „zaznajamiać z czymś Innym, objawiać coś Innego, być alegorią”, być „symbolem”<sup>65</sup>?

Sytuacja nie jest tak jasna, jak mogłoby się wydawać. Z jednej strony, nigdy nie będziemy obcować z czystym, nagim modelem z taką możliwością, jaką dysponuje komputer. Możemy doświadczać jedynie jego reprezentacji w formie obrazu w programie komputerowym (zmiennym w zależności od interfejsu), albo w formie „ubranego” w tekstury i materiały renderu. Możemy umieścić go w środowisku przestrzeni wirtualnej i obejrzeć z każdej strony, jednak nigdy nie będziemy w stanie doświadczyć go bezpośrednio. Zawsze będzie to doświadczenie zapośredniczone i zdeterminowane, z jednej strony przez nadane mu cechy, z drugiej przez interfejs i ekran, jakim się posłużymy. Jednakże nawet najślabza reprezentacja, ukazująca kluczowe cechy modelu i myśl stojącą za jego kreacją, może powodować w umyśle odbiorcy poszukiwanie Innego w sensie Heideggerowskim. Poruszyć może sama idea koła, kiedy w odbiorcy rozpocznie się proces utożsamiania i poszukiwania jego sensu, kiedy odnajdzie w nim nieskończoność, absolut, archetyp. Model wirtualny staje się więc wcieleniem idei, choć tylko w nierzeczywiste ciało, tworząc jeszcze jeden „ekran” w jaskini Platona. Jest czystą informacją.

Jeżeli powrócimy na chwilę do prezentowanych modeli, możemy wyodrębnić trzy poziomy: pierwszym jest matematyczna idea okręgu, która zyskuje swoją reprezentację w wirtualnym przedstawieniu koła w postaci cyfrowego modelu, stanowiącego poziom drugi, trzecim etapem jest realizacja modelu w formie fizycznej, gdzie staje się on jedynie cieniem wcześniejszych idei.

Walter Benjamin pisał o aurze dzieła i jej braku w przypadku reprodukcji. Jeżeli przyjmiemy na chwilę, że dziełem jest obiekt wirtualny, wówczas jego reprodukcją może stać się obiekt rzeczywisty, a biorąc pod uwagę powyższe zjawiska, nie można odmówić mu aury. W tym rozumieniu trudno mówić o aurze dzieła sztuki, o której pisał Walter Benjamin. Nie ma

---

<sup>65</sup> M. Heidegger, dz. cyt.

możliwości, aby umiejscowić wirtualny model w miejscu i czasie jego istnienia, zatem umieszczenie kopii w sytuacji nieosiągalnej dla samego oryginału nie jest niczym nadzwyczajnym. Codziennie, bez refleksji, wiele osób kopiuje i umieszcza w coraz to nowych kontekstach swoje zdjęcia. Warto zapytać, co jest kontekstem cyfrowego dzieła sztuki w ogóle? Czy będzie to urządzenie, na którym obiekt powstał? Jeżeli tak – czy jest to kontekst znaczący? Nie widzę żadnego powodu, dla którego miałyby tak być. Dane przeniesione na inny nośnik, odczytane na innym urządzeniu, nie zmieniają swojego oddziaływania. Oddziaływanie to może zmienić jedynie kontekst rzeczywisty, w jakim zostaną odczytane i ograniczenia urządzenia użytego do ich odczytania, np. przez redukcję rozpiętości tonalnej, która pozbawi obraz detalu. Skłaniam się więc w kierunku postrzegania dzieła cyfrowego jako abstrakcyjnej idei, która przez urzeczywistnienie może być odczytywana, ale jednocześnie pozbawiona części charakterystycznych cech.

Jednakże już reprodukcja (a może produkcja?), czyli fizyczny obiekt, może sprostać wszystkim powyższym wymaganiom. Benjamin stwierdza, że w kontekście płyt fotograficznych „pytanie o autentyczną odbitkę nie ma sensu”<sup>66</sup>. Jak sytuacja wygląda w kontekście technologii addytywnych? Czy odbitką, jedną z wielu, nie do odróżnienia od pozostałych, staje się każdy kolejny obiekt? Jestem przekonany, że w technologii FDM nie można tego stwierdzić bez wątpliwości. W swojej twórczości każdy z obiektów traktuję indywidualnie. Być może samej technologii bliżej jest do multiplikowalnej grafiki, aniżeli do opartego o unikalność malarstwa, jednakże tak jak w przypadku grafiki odbitki mogą różnić się od siebie, tak w tym przypadku zróżnicowanie obiektów może być wyraźnie czytelne.

Jestem przekonany, że moje poszukiwania w obszarze technologii przyrostowych dopiero się rozpoczynają. Przedstawione obiekty to podsumowanie, ale i wyznaczenie nowego kierunku przyszłych rozważań. Coraz bardziej pociąga mnie zagadnienie rozdźwięku i współistnienia rzeczywistości wirtualnej i realnej, zwłaszcza ze względu na ich wzajemny kontekst i definiowanie. Mogą one istnieć osobno, ale dopiero synergia, czy może nawet ich synteza, prowadzi do głębszych, bardziej znaczących sensów.

---

<sup>66</sup> W. Benjamin, *Dzieło sztuki w dobie reprodukcji technicznej*, w: tenże, *Anioł historii. Eseje szkice, fragmenty*, Wydawnictwo Poznańskie, Poznań 1996, s. 201-239.

## Spis ilustracji

- II. 1. Ilustracja z wniosku patentowego Josepha E. Blanthera, źr.: J.E. Blanther, *Manufacture of Contour Relief Maps*, Patent USA nr 473 901, 1892, <http://pdfpiw.uspto.gov/.piw?PageNum=0&docid=00473901>, dostęp: 2017.10.30.
- II. 2. Proces wykonywania fotografii w studiu François Willème'a (po lewej). Gotowe reprodukcje (po prawej). źr.: D.L. Bourell, J.J. Beaman, M.C. Leu, D.W. Rosen, *A Brief History of Additive Manufacturing and the 2009 Roadmap for Additive Manufacturing: Looking Back and Looking Ahead*. Proceedings of RapidTech 2009: US-TURKEY Workshop on RapidTechnologies, Istanbul, 2009 <http://rktngstcc.easycgi.com/haber/2009/rapidtech-workshop/presentations/Presentation02.pdf>, dostęp: 2017.10.27.
- II. 3. Ilustracja z wniosku patentowego Otto J. Munza, źr.: O.J. Munz, *Photo-glyph recording*, Patent USA nr 2 775 758, 1956, <http://pdfpiw.uspto.gov/.piw?PageNum=0&docid=02775758>, dostęp: 2017.10.30.
- II. 4. Ilustracja z wniosku patentowego Wyna K. Swainsona, źr.: W.K. Swainson, *Method, medium and apparatus for producing three-dimensional figure product*, Patent USA nr 4 041 476, 1977, <http://pdfpiw.uspto.gov/.piw?docid=04041476>, dostęp: 2017.10.30.
- II. 5. Ilustracja prezentująca proszkowy proces addytywny Pierre'a A.L. Cirauda, źr.: D.L. Bourell, J.J. Beaman, M.C. Leu, D.W. Rosen, *A Brief History of Additive Manufacturing and the 2009 Roadmap for Additive Manufacturing: Looking Back and Looking Ahead*. Proceedings of RapidTech 2009: US-TURKEY Workshop on RapidTechnologies, Istanbul, 2009, <http://rktngstcc.easycgi.com/haber/2009/rapidtech-workshop/presentations/Presentation02.pdf>, dostęp: 2017.10.27.
- II. 6. Richard Dupont, *Untitled (5)*, 2008, źr.: <http://www.richarddupont.com/sculptures/figures/>, dostęp: 2017.12.22.
- II. 7. Richard Dupont, *Bifurcated*, 2007. źr.: <http://www.richarddupont.com/sculptures/figures/>, dostęp: 2017.12.22.
- II. 8. Richard Dupont, *Them*, 2005, źr.: <http://www.richarddupont.com/sculptures/figures/>, dostęp: 2017.12.22.
- II. 9. Oliver Laric, *Icon (Utrecht)*, 2009, źr.: <http://oliverlaric.com/iconutrecht.htm>, dostęp: 2017.12.23.
- II. 10. Oliver Laric, widok z wystawy *Photoplastik*, 2016, fot. Iris Ranzinger, źr.: <https://www.secession.at/en/exhibition/oliver-laric/#>, dostęp: 2017.12.23.
- II. 11. Platform WerterOberfell & Matthias Bär, *Fractal Table*, proj. 2007-09, realizacja: 2011, fot. StéphaneBriolantParis, źr.: <http://www.werteloberfell.com/?project=fractal-mgx>, dostęp: 2017.12.08.
- II. 12. Platform WerterOberfell & Matthias Bär, *Fractal Table*, proj. 2007-09, realizacja: 2011, detal, fot. StéphaneBriolantParis, źr.: <http://www.werteloberfell.com/?project=fractal-mgx>, dostęp: 2017.12.08.
- II. 13. Emerging Objects, *GCODE.Clay*, 2016, widok ekspozycji *Pattern, Predictability, and Repetition*, fot. Rebecca Jay, źr.: <http://www.emergingobjects.com/project/gcode-clay/>, dostęp: 2017.12.11.
- II. 14. Emerging Objects, *GCODE.Clay*, 2016, widok ekspozycji *Pattern, Predictability, and Repetition*, fot. Rebecca Jay, źr.: <http://www.emergingobjects.com/project/gcode-clay/>, dostęp: 2017.12.11.
- II. 15. Emerging Objects, *GCODE.Clay*, 2016, detal, fot. Rebecca Jay, źr.: <http://www.emergingobjects.com/project/gcode-clay/>, dostęp: 2017.12.11.
- II. 16. Alterfact, *One of a Kind*, źr.: <https://www.alterfact.net/one-of-a-kind>, dostęp: 2017.12.11.
- II. 17. Alterfact, *Collapse*, źr.: <https://www.alterfact.net/collapse>, dostęp: 2017.12.11.
- II. 18. Alterfact, *Collapse*, źr.: <https://www.alterfact.net/collapse>, dostęp: 2017.12.11.

- II. 19. Anish Kapoor, *Greyman Cries, Shaman Dies, Billowing Smoke, Beauty Evoked*, 2008-09, wybrane obiekty, źródło: <http://www.factum-arte.com/pag/49/Greyman-cries-Shaman-Dies-Billowing-Smoke-Beauty-Evoked>, dostęp: 2017.12.22.
- II. 20. Anish Kapoor, *Greyman Cries, Shaman Dies, Billowing Smoke, Beauty Evoked*, 2008-09, detal, źródło: <http://www.factum-arte.com/pag/49/Greyman-cries-Shaman-Dies-Billowing-Smoke-Beauty-Evoked>, dostęp: 2017.12.22.
- II. 21. Paweł Dudko, *1/1000, X Międzynarodowe Spotkania Artystyczne Experiment, Zbąszyń 2010*.
- II. 22. Paweł Dudko, *Znikać*, Galeria pod Arkadami, Łomża 2013.
- II. 23. Paweł Dudko, *Inkubator: nova.MA1310*, Centrum Rysunku i Grafiki im. Tadeusza Kulisiewicza, Kalisz 2013.
- II. 24. Paweł Dudko, *Inkubator: nova.MA1310*, Centrum Rysunku i Grafiki im. Tadeusza Kulisiewicza, Kalisz 2013, detal.
- II. 25. Paweł Dudko, *Płochy*, Miejsce sztuki 44, Świnoujście 2014.
- II. 26. Paweł Dudko, *Palimpsest*, Galeria XX1, Warszawa 2013.
- II. 27. Paweł Dudko, *Owoce oświecenia*, Festiwal Fabryka Światła, Przasnysz 2014.
- II. 28. Paweł Dudko, *Owoce oświecenia*, Festiwal Fabryka Światła, Przasnysz 2014, detal.
- II. 29. Paweł Dudko, *Populacje*, 2016.
- II. 30. Paweł Dudko, *Populacje*, 2016, detal.
- II. 31. Paweł Dudko, *Etapy powstawania modelu Populacje*, 2016, źródło: opracowanie własne.
- II. 32. Paweł Dudko, *(Nie)zbędne*, 2016.
- II. 33. Paweł Dudko, *Dźwięk obrazu | Obraz dźwięku*, 2017, obiekty.
- II. 34. Paweł Dudko, *Dźwięk obrazu | Obraz dźwięku*, Galeria Fundacji Profile, Warszawa 2017, widok ekspozycji.
- II. 35. Paweł Dudko, *Aliaż*, 2017.
- II. 36. Paweł Dudko, *Aliaż*, 2017, detal.

Ilustracje 21-30., 32-36. fot. Paweł Dudko.

# Bibliografia

## Źródła drukowane

1. Arnheim R., *Sztuka i percepcja wzrokowa. Psychologia twórczego oka*, Oficyna, Łódź 2013.
2. Benjamin W., *Dzieło sztuki w dobie reprodukcji technicznej*, w: tenże, *Anioł historii. Eseje szkice, fragmenty*, Wydawnictwo Poznańskie, Poznań 1996, s. 201-239.
3. Eliade M., *Joga. Nieśmiertelność i wolność*, przeł. B. Baranowski, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1984.
4. Flusser V., *Ku filozofii fotografii*, Wydawnictwo Aletheia, Warszawa 2015.
5. Heidegger M., *O źródle dzieła sztuki*, *Sztuka i filozofia* 5, 1992, s. 9-67.
6. Jung C.G., *Archetypy i nieświadomość zbiorowa*, przeł. R. Reszke, Wydawnictwo KR, Warszawa 2011.
7. Jung C.G., *Mandala. Symbolika człowieka doskonałego*, przeł. M. Starski, Wydawnictwo Brama – Książnica Włóczęgów i Uczonych, Poznań 1993.
8. Jung C.G., *Podróż na wschód*, Wydawnictwo Pusty Obłok, Kraków 1989.
9. Kandinsky W., *Punkt i linia a płaszczyzna. Przyczynek do analizy elementów malarskich*, Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa 1986.
10. Kapoor A., Lowe A., *Unconformity and entropy: Greyman Cries, Shaman Dies, Billowing Smoke, Beauty Evoked*, Turner, Madryt 2009.
11. Pawłowski A., *Wirtualizacja – historia i próba rekonstrukcji pojęcia*, w: *Wirtualizacja. Problemy, wyzwania, skutki*, red. Lech W. Zacher, Warszawa 2013, s. 12-13
12. *Tablice matematyczne*, red. Witold Mizerski, wyd. V zaktual., Wydawnictwo Adamantan, Warszawa 2002, s. 165.
13. Taranienko Z., *Dialogi o sztuce*, Państwowy Instytut Wydawniczy, Akademia Sztuk Pięknych, Warszawa 2004.
14. Tatarkiewicz W., *Historia estetyki 1. Estetyka starożytna*, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1985.

## Źródła internetowe

15. Alterfact – oficjalna strona studia: <https://www.alterfact.net/one-of-a-kind>, dostęp: 2017.12.11.
16. Baese C., *Photographic process for reproduction of plastic objects*, Patent USA nr 774 549, 1904, <http://pdfpiw.uspto.gov/.piw?PageNum=0&docid=00774549>, dostęp: 2017.10.30.
17. Beaman J. J., *Historical Perspective*, w: *JTEC/WTEC Panel Report on Rapid Prototyping in Europe and Japan, Volume I. Analytical Chapters*, 1997; <http://www.wtec.org/loyola/rp/toc.htm>, dostęp: 2017.10.30.
18. Blather J. E., *Manufacture of Contour Relief Maps*, Patent USA nr 473 901, 1892, <http://pdfpiw.uspto.gov/.piw?PageNum=0&docid=00473901>, dostęp: 2017.10.30.
19. Boratyński T., Rosienkiewicz M., Olejarczyk M., *Budowa drukarki 3D RepRap*, *Mechanik*, 4/2011, [http://www.mechanik.media.pl/pliki/do\\_pobrania/artykuly/2/3870\\_boratynski.pdf](http://www.mechanik.media.pl/pliki/do_pobrania/artykuly/2/3870_boratynski.pdf), dostęp: 2017.10.20.
20. Bourell D.L., Beaman J.J., Leu M.C., Rosen D.W., *A Brief History of Additive Manufacturing and the 2009 Roadmap for Additive Manufacturing: Looking Back and Looking Ahead*, *Proceedings of RapidTech 2009: US-TURKEY Workshop on Rapid Technologies*, Istanbul 2009, <http://rktngstcc.easycgi.com/haber/2009/rapidtech-workshop/presentations/Presentation02.pdf>, dostęp: 2017.10.27.
21. Dudley A., *SLO: 3D Printed Camera*, blog autora: <http://amosdudley.com/weblog/SLO-Camera>, dostęp: 2017.11.02.
22. Dupont Richard – oficjalna strona artysty: <http://www.richarddupont.com/>, dostęp: 2017.12.22.

23. Emerging Objects – oficjalna strona kolektywu: <http://www.emergingobjects.com/project/gcode-clay/>,  
dostęp: 2017.12.11.
24. Factum Arte – oficjalna strona: <http://www.factum-arte.com/pag/49/Greyman-cries-Shaman-Dies-Billowing-Smoke-Beauty-Evoked>,  
dostęp: 2017.12.22.
25. Fairis M., Fractal Table by Platform WertelOberfell, <https://www.dezeen.com/2008/06/13/fractal-table-by-platform-wertel-oberfell/>,  
dostęp: 2017.12.08.
26. Gibbs S., *Chuck Hull: the father of 3D printing who shaped technology*, The Guardian,  
<https://www.theguardian.com/business/2014/jun/22/chuck-hull-father-3d-printing-shaped-technology>,  
dostęp: 2017.10.21.
27. Hangprinter – oficjalny blog projektu, <https://vitana.se/opr3d/tbear/>,  
dostęp: 2017.10.16.
28. Jones R., Haufe P., Sells E., Iravani P., Olliver V., Palmer C., Bowyer, A., *Reprap – the replicating rapid prototyper*, Robotica, Cambridge University Press, 2011, nr 29, s. 177-191,  
<http://reprap.org/mediawiki/images/d/da/Jones-et-al-paper.pdf>,  
dostęp: 2017.10.21.
29. Kapoor Anish – oficjalna strona artysty: <http://anishkapoor.com/130/greyman-cries-shaman-dies-billowing-smoke-beauty-evoked>,  
dostęp: 2017.12.22.
30. Labaco R., *Crafting Out Of Hand*, rozm. przepr. Lowery Stokes Sims, The Brooklyn Rail, 2014.04.02:  
<https://brooklynrail.org/2014/04/criticspage/crafting-out-of-handron-labaco-with-lowery-stokes-sims>,  
dostęp: 2017.12.22.
31. Laric Oliver – oficjalna strona artysty: <http://oliverlaric.com/>,  
dostęp: 2017.12.23.
32. Laric O., rozm. przepr. Johannes Fricke Waldthausen, artsy.net, 2013.04.29,  
<https://www.artsy.net/article/johannesfrickewaldthausen-interview-with-oliver-laric>,  
dostęp: 2017.12.23.
33. Liebow-Feeser J., *LavaRand in Production: The Nitty-Gritty Technical Details*, 2017.11.06,  
<https://blog.cloudflare.com/lavarand-in-production-the-nitty-gritty-technical-details/>,  
dostęp: 2017.12.28.
34. The Museum Of Arts And Design – materiały prasowe do wystawy *Out of Hand: Materializing the Postdigital*,  
<http://press.madmuseum.org/2014/02/out-of-hand/>,  
dostęp: 2017.12.21.
35. Munz O. J., *Photo-glyph recording*, Patent USA nr 2 775 758, 1956,  
<http://pdfpiw.uspto.gov/.piw?PageNum=0&docid=02775758>,  
dostęp: 2017.10.30.
36. Platform WertelOberfell – oficjalna strona studia: <http://www.werteloberfell.com/?project=fractal-mgx>,  
dostęp: 2017.12.08.
37. Price A., *Anish Kapoor at the Royal Academy: a conversation with Dr Adrian Locke*, 2009.12.18,  
<http://www.nouse.co.uk/2009/12/18/anish-kapoor-at-the-royal-academy-a-conversation-with-dr-adrian-locke/>,  
dostęp: 2017.12.22.
38. RepRap.org – oficjalna strona projektu: <http://reprap.org>;  
dostęp: 2017.10.21.
39. Ślusarczyk P., *HISTORIA DRUKU 3D – CZĘŚĆ 1: jak stary jest druk 3D, kto naprawdę jest jego twórcą oraz kto wymyślił jego nazwę?*, <http://centrumdruku3d.pl/historia-druku-3d/>,  
dostęp: 2017.10.21.