

Redakcja naukowa —

Editors

Monika Aleksandrowicz

Małgorzata Kaczmarska

3D IMPLIKACJE
CYFRA I BRYŁA
IMPLICATIONS
DIGIT AND SOLID

Wzmoczone zainteresowanie twórców dzieł artystycznych nowymi technologiami i fascynacja wielu z nich, reprezentujących różne ośrodki naukowo-badawcze, nowymi możliwościami, jakie daje technologia druku 3D, stały się dla Katedry Mediacji Sztuki Wydziału Rzeźby i Mediacji Sztuki Akademii Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu wyzwaniem.

W zebranie tych osiągnięć i ich prezentacja zawarte w niniejszej publikacji zaangażowały się dr Monika Aleksandrowicz i dr hab. Małgorzata Kaczmarska.

Składają one serdeczne podziękowania Recenzentom artykułów i Autorom wszystkich prac zawartych w publikacji z nieukrywaną nadzieją, że ich nowatorskie podejście do prezentowanej problematyki ma sens - stanowi nie tylko postęp w rozwoju nowych technologii w sztuce, przynosi satysfakcję twórcom i odbiorcom oraz rozszerza możliwości wielokierunkowego eksperymentowania, w tym „modelowania nowych światów”.

The increased interest among creators of artistic works in new technologies and the fascination shown by many of them, representing various research centres, with the new possibilities offered by 3D printing technology have become a challenge for the Department of Art Mediation of the Faculty of Sculpture and Art Mediation at the Eugeniusz Geppert Academy of Fine Arts in Wrocław.

Dr Monika Aleksandrowicz and dr hab. Małgorzata Kaczmarska were engaged in collecting these achievements and presenting them in this publication.

They express their sincere thanks to the article reviewers and authors of all the works included in the publication with an undisguised hope that their innovative approach to the presented issues makes sense as it not only represents progress in the development of new technologies in art, but also brings satisfaction to creators and recipients and expands the possibilities for multidirectional experimentation, including the „modelling of new worlds”.

3D. IMPLIKACJE. CYFRA I BRYŁA / 3D. IMPLICATIONS. DIGIT AND SOLID

Redakcja naukowa / Scientific editing

Monika Aleksandrowicz, Małgorzata Kaczmarska

Teksty / Texts: **Adam Abel, Monika Aleksandrowicz, Katarzyna Gemborys, Magda Grzybowska, Piotr Idzi, Małgorzata Kaczmarska, Fania Kolaiti, Rafał Kotwis, Izabela Miechowicz, Sławomir Miechowicz, Jordi Morell-Rovira, Marcin Noga, Aleksander Józef Olszewski, Cristina Pastó-Aguilà, Jacek Romański, Thomas Schmidt, Michał Staszczak, Łukasz Szatanek, Jakub Trzyna, Ângels Viladomiu-Canela, Wiktoria Wojnarowska**

Recenzenci / Reviewers

prof. dr hab. Maciej Manikowski, dr hab. inż. arch. Bogusław Podhalański

Wydawca / Publisher

Akademia Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu
The Eugeniusz Geppert Academy of Art and Design in Wrocław

pl. Polski 3/4, 50-156 Wrocław
tel. +48 71 343 80 31, 32, 33, 34
www.asp.wroc.pl



AKADEMIA SZTUK PIĘKNYCH
IM. EUGENIUSZA GEPPERTA
WE WROCŁAWIU

Publikacja finansowana z funduszy Akademii Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu
Funded publication The Eugeniusz Geppert Academy of Art and Design in Wrocław

Wydanie pierwsze / First edition

Wrocław 2023

Tłumaczenie / Translation: **Małgorzata Kruzel-Niemyjska**

Redakcja / Editing: **Monika Aleksandrowicz, Małgorzata Kaczmarska, Kazimiera Kuzborska**
Redaktor pomocniczy / Assistant editor: **Adam Abel** (s. / p. 143-150, 157-167, 193-202)

Korekta językowa / Proof-reading

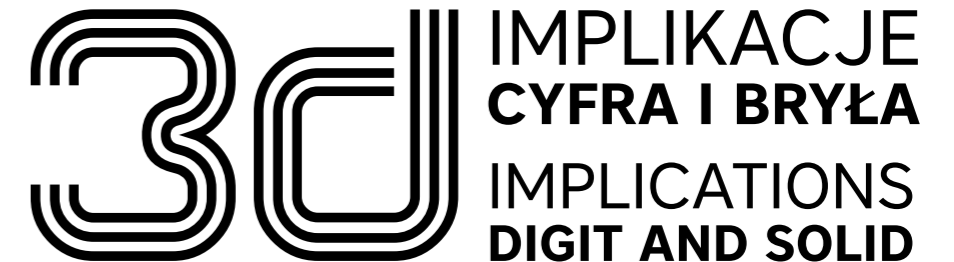
Kazimiera Kuzborska (tekst polski / Polish text)
Małgorzata Kruzel-Niemyjska (tekst angielski / English text)

Projekt graficzny, przygotowanie do druku / Graphic layout and Pre-press: **Beata Oberc**
Projekt okładki / Cover design: **Monika Aleksandrowicz, Beata Oberc**

© Copyright by Akademia Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu, Wrocław 2023
Wszystkie prawa zastrzeżone / All rights reserved

ISBN: 978-83-67584-12-8

Druk i oprawa / Print & binding
ZAPOL Sobczyk sp.k.
al. Piastów 42, 71-062 Szczecin



Akademia Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu
The Eugeniusz Geppert Academy of Art and Design in Wrocław

2023

Redakcja naukowa —
Editors

Monika Aleksandrowicz, Małgorzata Kaczmarska

Zdjęcia / Photo Credits, **Adam Abel**, s. / p.: 122, 125-126, 129, 133-134, **Monika Aleksandrowicz**, s. / p.: 10, 21, 36, 210, 212, 214, 222, 226-230, 232, 234, 236, 238, 240, 242, **Katarzyna Gemborys**, s. / p.: 237, **Magdalena Grzybowska**, s. / p.: 233, 235, **Piotr Idzi**, s. / p.: 58, 60, 62-63, 66-67, 71-72, **Małgorzata Kaczmarska**, s. / p.: 120, 212, 216, 218, 220, **Fania Kolaiti**, s. / p.: 192, 195, 196, 199-200, 209, **Rafał Kotwis**, s. / p.: 36, 39, 41-44, 46-49, **Jordi Morell-Rovira**, s. / p.: 142, **Marcin Noga**, s. / p.: 176-184, 191, **Aleksander Józef Olszewski**, s. / p.: 80, 82, 93, **Cristina Pastó-Aguilà**, s. / p.: 145, **Thomas Schmidt**, s. / p.: 159-160, 162-166, 168, **Jakub Trzyna**, s. / p.: 94, 97-98, 102, 106, 119, **Àngels Viladomiu-Canela**, s. / p.: 147.

Wydział Rzeźby i Mediacji Sztuki | Faculty of Sculpture and Art Mediation



Spis treści

Table of contents

WSTĘP	13
INTRODUCTION	17
I. MODELOWANIE NOWYCH ŚWIATÓW	21
MODELLING NEW WORLDS	
Jacek Romański , Drukując idee, drukując przedmioty - ontologiczna analiza dzieł sztuki stworzonych z wykorzystaniem technologii wydruku 3D	23
By printing ideas, by printing objects - an ontological analysis of works of art created with the use of 3D printing	29
Rafał Kotwis , Droga po druku. Pomędzy przestrzenią wirtualną a realną - analiza problemu na podstawie własnych doświadczeń	37
Way after printing. Between virtual and real space - problem analysis based on own experience	51
Piotr Idzi , Perspektywa twórcy w kontekście rzeźby cyfrowej	59
The Creator's Perspective in the Context of Digital Sculpture	73
Aleksander Józef Olszewski , Algorytm a technologia	81
Algorithm and technology	87
Izabela Miechowicz, Sławomir Miechowicz, Jakub Trzyna, Wiktoria Wojnarowska	
Druk 3D w sztuce - wybrane aspekty modelowania wieloobiektowego	95
3D printing in art - selected aspects of multibody modeling	107
II. KREATYWNE KODOWANIE	121
CREATIVE CODING	
Adam Abel , Kreatywne kodowanie - transformacja medium	123
Creative coding - transformation of the medium	135
Jordi Morell-Rovira, Cristina Pastó-Aguilà, Àngels Viladomiu-Canela	
Materia drukowana. Zmieniać znaczenie rzeczy	143
PRINTED MATTER. Resignify things	151
Thomas Schmidt , Zacieranie Granic: Eksperymenty studyjne w postcyfrowym krajobrazie	157
Blurring Boundaries: Studio Experiments in a Post-digital Landscape	169
Marcin Noga , Moja droga artystyczna do druku 3D fal elektromagnetycznych	175
My artistic path to 3D printing of electromagnetic waves	185
Fania Kolaiti , Badania nad ceramicznymi elementami architektonicznymi jako pojawiającymi się obiektami w zrównoważonym projektowaniu i odbudowie ekosystemów	193
A study on ceramic architectural components as emerging objects in sustainable design and ecosystem restoration	203

III.	CYFROWY RODOWÓD DIGITAL LINEAGE	211
	Małgorzata Kaczmarska , PARTYTURA 2022 MUSIC SCORE 2022	213
	Monika Aleksandrowicz , MEANDER 2022	223
	Magdalena Grzybowska , WARKOCZ 2019 BRAID 2019	233
	Katarzyna Gemborys, Łukasz Szatanek , ORGANOMETRIE	236
	Michał Staszczak , KIJANKA I KIJANKA MIKRO TADPOLE AND TADPOLE MICRO	239
IV.	NOTY BIOGRAFICZNE BIOGRAPHIC NOTES	243

Sztukę i naukę można postrzegać jako uzupełniające się metody interpretacji świata, które w relacjach wzajemnych także mogą być narzędziem poznawczym. Działania artystyczne na styku różnych dyscyplin naukowych i często we współpracy z przedstawicielami nauk technicznych, przyrodniczych, społecznych czy humanistycznych dotyczą problemów związanych z wyzwaniami współczesnej cywilizacji. Sztuka współczesna niejednokrotnie ma charakter mediacyjny, pomiędzy eksperymentem naukowym, doświadczeniem generowanym nowymi technologiami a społecznym odbiorem i adaptacją.

Kreatywność jest przynależna ludzkiej naturze. Zmienia nasz świat z dnia na dzień. Nauka i sztuka rządzą się tą samą energią – ludzką potrzebą bycia twórczym, bycia kreatywnym, bycia innowacyjnym w wyrażaniu siebie. Twórcze użycie mediów technicznych, kiedy mamy do czynienia z procesem artystycznym o charakterze badawczym, ma wpływ na poszerzanie granic percepcji, doświadczenia i wiedzy człowieka.

Punktem wyjścia do rozważań zawartych w tej publikacji jest coraz szersze stosowanie technologii druku 3D w praktyce artystycznej. Sięgają po nią artyści wywodzący się z różnych dziedzin sztuk plastycznych. Często metoda ta, twórczo wykorzystana, bywa najlepszym rozwiązaniem w projektach badawczo-naukowych, o istotnym znaczeniu praktycznym.

Publikacja składa się z trzech części: rozważań historyczno-teoretycznych, potwierdzonych niemałym doświadczeniem autorów, związanych z technologią druku 3D, refleksjami związanymi z konkretnymi realizacjami artystyczno-badawczymi oraz z części prezentującej eksperymenty różnych artystów, które uzupełniają przedstawione wcześniej zagadnienia. Jak zauważa jeden z recenzentów monografii, prof. dr hab. Maciej Manikowski: *Z jednej strony powstaje pytanie, czy drukując w technice 3D, ale myślę, że ma to też zastosowanie w każdej działalności artystycznej, pewien obiekt (świadomie nie używam w tym miejscu terminów „przedmiot” i „rzecz”), drukujemy idee, to – co było podłożem tej idei – czy też coś innego. Ta refleksja pojawia się we wszystkich opisanych w monografii procesach badawczych.*

Monografię rozpoczynają rozważania wokół statusu dzieła cyfrowego z perspektywy filozofa – Jacka Romańskiego, który analizuje problematykę druku 3D przez pryzmat wielorakich matryc filozoficznych i wskazuje na możliwości, jakich w odtwarzaniu i kreacji dotychczas nie było, co zasadniczo przybliżyło nas do większego rozumienia i prawdy o niej. Wskazuje jednak na potrzebę ciągłego poddawania w wątpliwość i eksperymentowania, nieustawania w ciągłych próbach *ukazania* (owego doświadczania) *takim, jakie jest – a nie takim, jakim myślimy, że jest.* W kolejnym artykule będącym autoanalizą doświadczeń pomiędzy przestrzenią wirtualną a realną, Rafał Kotwis pisze: *druk 3D umożliwił urealnienie elementów ze świata wirtualnego, dzięki czemu świat wirtualny materializuje się „na naszych oczach”, inaczej mówiąc rzeczywistość immaterialna staje się znowu materialna, jednak nie bezpośrednio dzięki manualnemu działaniu człowieka, lecz dzięki możliwościom maszyny.* Mamy zatem do czynienia z „modelowaniem nowych światów” – stwierdzenie to, za zgodą autora, stało się tytułem pierwszej części tego tomu. Zadaje on sobie pytanie, czy jest to ważne pytanie; być może najbardziej dramatyczne dotyczy relacji porównującej szybsze przetwarzanie danych do współczesnej duchowości. W kolejnym tekście Piotr Idzi (z Jego

artykułu pochodzi określenie będące tytułem trzeciej części opracowania), dzieli się swoimi refleksjami wokół idei druku 3D i rekompozycji koncepcji warsztatu rzeźbiarza korzystającego z narzędzi cyfrowych. Zwraca uwagę na konsekwencje podstawowej zmiany, polegającej na tym, że *Rzeźbiarze znani z kart historii sztuki przepracowywali tony gliny, kamienia czy brązu. Dziś tym materiałem są terabajty danych, setki lub miliony powidoków*. Poruszanie tych zagadnień doprowadza go wszakże do istoty rzeczy – sensu tworzenia. *Czy dany twórca korzysta z możliwości wirtualnego świata, by powiedzieć coś więcej?* Kontynuację tej myśli znajdujemy w tekście Aleksandra Olszewskiego, który pisze: *Myślę, że każda epoka poprzez kolejne odkrycia nieznanymi dotychczas mediów poszerzała zakres możliwości technicznych, służących twórczej wypowiedzi. W tych kategoriach również traktuję moją współpracę z komputerem i jego oprogramowaniem*. Autor podaje również – z upływem czasu i popularyzacji sztuki cyfrowej – coraz bardziej rewolucyjną propozycję, aby niszczyć cyfrowy zapis dzieła po jego zmaterializowaniu, w celu uzyskania unikatowości właściwej tradycyjnym dziełom, takim jak na przykład malarstwo czy rysunek. Jak wiele jeszcze stoi przed nami wyzwań w zaadaptowaniu się do powstających światów, wskazują poniekąd autorzy kolejnego artykułu – Izabela Miechowicz, Sławomir Miechowicz, Jakub Trzyna oraz Wiktoria Wojnarowska. Dostrzegli oni paradoks polegający na tym, że o *technologiach druku 3D mówi się, że to technologie przyszłości, tymczasem one czekają na rozwój oprogramowania wykorzystujących pełen ich potencjał*. Tekst zawiera opis licznych możliwości wytwarzania modeli wielomateriałowych, wielokolorowych w jednym procesie technologicznym. Skoncentrowano się w nim na weryfikacji możliwości nadawania barw wydrukowi 3D w zależności od doboru technologii.

Kreatywne kodowanie, to termin często stosowany wobec twórczych rozwiązań związanych z technologiami cyfrowymi. Drugą część monografii otwiera artykuł Adama Abła, który wykorzystał w tytule swojego tekstu to określenie, dzięki uprzejmości autora stało się ono podtytułem niniejszej publikacji. W swoim opracowaniu odniósł się on m.in. do autorskiej eksperymentalnej aplikacji, nad którą długo pracuje i która z czasem stała się dla niego komputerowym narzędziem wspomagającym algorytmiczne projektowanie jego prac. Podjął też kwestie przełamania ograniczeń, wynikających ze stosowania narzędzi cyfrowych wobec materii ceramicznej, i odniósł się do roli tych badań we współczesnej sztuce ceramiki. Problematykę wpływu druku 3D na współczesny język artystyczny podejmuje również projekt badawczy *PRINTED MATTER*, scharakteryzowany w kolejnym artykule autorstwa Jordiego Morell-Rovira, Cristiny Pastó-Aguilà oraz Àngels Viladomiu-Canela. Zaangażowana w nim grupa hiszpańskich badaczy projektuje także nową platformę internetową, która ma służyć jako miejsce do prezentacji zrealizowanych projektów, miejsce gromadzenia ogólnych informacji o technologiach 3D i wirtualną przestrzeń ułatwiającą współpracę w procesach twórczych, wymianę plików i pomysłów. W kolejnym artykule, amerykański artysta i wykładowca – Thomas Schmidt pisze o własnych sposobach na reformułowanie doświadczenia zmysłowego w epoce postcyfrowej. Dzieli się refleksją nad zagadnieniami takimi jak przypadek, czas, zmiana i pamięć w krajobrazie postcyfrowym. Podobne tematy podejmuje Marcin Noga – na podstawie własnej pracy artystyczno-badawczej przedstawia problematykę materializacji ulotnego zjawiska fal dźwiękowych i radiowych. Opis bardzo konkretnego a zarazem eksperymentalnego zagadnienia został podjęty w tekście Fanii Kolaiti. Wskazuje ona, że technologia druku 3D w projektowaniu i produkcji ceramiki daje możliwość wytwarzania funkcjonalnych

jednostek architektonicznych, które uzyskują wysoką trwałość, złożoność konstrukcyjną, umożliwiając zapobieganie problemom produkcyjnym, występującym w procesach analogowych. Nowa technologia pozwala na minimalizację odpadów i w rezultacie proces powstawania jest mniej czasochłonny. W rozważaniach teoretycznych podjęto istotną kwestię zrównoważonego stylu życia, z uwzględnieniem faktu, że sztuka i projektowanie mogą wywierać wpływ na nowe sposoby zachowań społecznych oraz kulturowych, charakteryzujących się świadomością ekologiczną.

Uzupełnieniem powyższych rozważań jest prezentacja w części trzeciej – *Cyfrowy rodzaj* – zestawu prac wybranych autorów, które podkreślają wielopłaszczyznowość i wieloaspektowość poruszanych w monografii zagadnień. *Partytura*, projekt badawczy Małgorzaty Kaczmarskiej, dotyczący artystycznej koncepcji elewacji wewnętrznej dla obiektu dedykowanego muzyce; *Meander* Moniki Aleksandrowicz jako parabola drogi artysty – od idei do realizacji osobistej wizji sztuki, *Warkocz* Magdaleny Grzybowskiej nawiązuje do tworzenia magicznych splotów, łańcuchów, warkoczy, ale też ma konotacje ze światem matematyki, *Organometrie* Katarzyny Gemborys i Łukasza Szatanka, w której organiczna forma szkła styka się z geometryczną formą polimerową, oraz prace *Kijanka* i *Kijanka mikro* Michała Staszczaka podejmujące problem skali i unikatowości dzieła sztuki.

Prezentowane w publikacji rozważania udowadniają, że działalność twórcza artystów ma charakter mediacyjny, pomiędzy eksperymentem naukowym, doświadczeniem generowanym nowymi technologiami a społecznym odbiorem i adaptacją. Nie tylko twórcy, ale i współczesne społeczeństwo, my sami, zderzamy się z możliwościami kreatywnymi niedostępnymi wcześniej człowiekowi, wobec których należy wypracować nowe reakcje, nowe koncepcje i definicje, nadal jednak bazujące na humanistycznych wartościach i odnoszące się z troską i z bezpośrednim zaangażowaniem w ochronę środowiska naturalnego. Kreatywność to narzędzie zmieniające świat i ludzkie życie. Pozostaje mieć nadzieję, że zawsze będzie służyć realizacji ważnych celów w poszanowaniu ekosystemu i dobrostanu człowieka.

Monika Aleksandrowicz i Małgorzata Kaczmarska

Art and science can be seen as complementary methods of interpreting the world, which in their mutual relation can also serve as a cognitive tool. The artistic activities at the intersection of various scientific disciplines and often in collaboration with the representatives of the technical, natural or social sciences as well as the humanities, touch upon problems related to the challenges of contemporary civilisation. Modern art is often of a mediating nature, between scientific experimentation, experience generated by new technologies and social reception and adaptation.

Creativity is a part of human nature. It changes our world from day to day. Science and art are guided by the same energy - the human need to be creative, to be imaginative and to be innovative in self-expression. When dealing with an artistic process of a research nature, the creative use of technical media has the effect of expanding the boundaries of human perception, experience and knowledge.

The starting point for the considerations in this publication is the increasing use of 3D printing technology in artistic practice. Artists from various fields of fine arts are reaching for it. When used creatively, this method often proves to be the best solution in research and scientific projects of significant practical importance.

The publication consists of three parts: historical and theoretical reflections, confirmed by the authors' considerable experience with 3D printing technology, reflections related to particular artistic and research projects and a part presenting experiments by various artists, which complement the previously presented issues. As one of the reviewers of the monograph, prof. dr hab. Maciej Manikowski, notes: *On the one hand, the question arises whether by printing in 3D technology, but I think that this also applies to any artistic activity, a certain object (I am deliberately not using the terms "item" and "thing" here), we are printing an idea - what was the basis of this idea - or something else.* This reflection appears in all the research processes described in the monograph.

The monograph begins with a consideration of the status of the digital work of art from the point of view of the philosopher, Jacek Romański, who analyses the issue of 3D printing through the lens of multiple philosophical matrices and points to the possibilities that have not yet existed in reproduction and creation, which essentially bring us closer to a greater understanding and truth about it. He does, however, point to the need to keep questioning and experimenting, to keep trying to show (this experience) as it is - and not as we think it is. In another article, which is a self-analysis of experiences between a virtual space and reality, Rafał Kotwis writes: *3D printing has made it possible to make elements from the virtual world real, thanks to which the virtual world materialises 'before our eyes', in other words immaterial reality becomes material again, but not directly thanks to human manual action, but thanks to the abilities of the machine.* We are thus dealing with the "modelling new worlds" - a statement which, with the author's consent, has become the title of the first part of this volume. He asks himself more than one important question, perhaps the most dramatic one being the relationship comparing faster processing to contemporary spirituality. In the following text, Piotr Idzi (the term which is the title of the third part of the study originates from his article), shares his thoughts on the idea of 3D printing and the recomposition of the concept of a sculptor's workshop using digital tools. He

highlights the consequences of the fundamental change that *Sculptors known from the pages of art history used to work with tons of clay, stone or bronze*. Today, that material is terabytes of data, hundreds or millions of afterimages. After all, addressing these issues brings him to the essence of things – the meaning of creation. Does the creator in question use the possibilities of the virtual world to say something more? We find a continuation of this idea in another text by Aleksander Józef Olszewski, who writes: *I think that each epoch, through successive discoveries of previously unknown media, has expanded the range of technical possibilities for creative expression*. I also consider my collaboration with the computer and its software in these terms. The author also gives – with the passage of time and the popularisation of digital art – the increasingly revolutionary proposal to destroy the digital record of a work after it has been materialised, in order to achieve the uniqueness inherent in traditional art works such as painting or drawing, for instance. The challenges we still face in adapting to the emerging worlds are somewhat indicated by the authors of the following article – Izabela Miechowicz, Sławomir Miechowicz, Jakub Trzyna and Wiktoria Wojnarowska. They have noted the paradox that *3D printing technologies are said to be the technologies of the future, while they continue to wait for the development of a software to realise their full potential*. This text provides a description of the numerous possibilities for producing multi-material, multi-colour models in a single technological process. It focuses on verifying the colouring capabilities of 3D prints depending on the choice of technology.

Creative coding is a term often used in relation to creative solutions related to digital technologies. The second part of the monograph opens with an article by Adam Abel who used the term in the title and by courtesy of the author it has become the subtitle of this publication. In his piece, he referred, among other things, to the author's experimental application, which he has been working on for a long time and which, over time, has become a computer tool for him to support the algorithmic design of his work. He has also addressed the issues of overcoming the limitations resulting from the use of digital tools in relation to ceramic matter, and referred to the role of this research in contemporary ceramic art. The influence of 3D printing on contemporary artistic language is also explored in the research project *PRINTED MATTER*, characterised in the following article by Jordi Morell-Rovira, Cristina Pastó-Aguilà and Àngels Viladomiu-Canela. The group of Spanish researchers who are involved in it are also designing a new online platform to serve as a place to present completed projects, a place to gather general information about 3D technologies and a virtual space to facilitate collaboration in creative processes, exchange of files and ideas. In the following article, American artist and lecturer Thomas Schmidt writes about his own ways of reformulating sensory experience in the post-digital age. He shares his thoughts on such issues as chance, time, change and memory in the post-digital landscape. Similar subjects are taken up by Marcin Noga – on the basis of his own artistic and research work he presents the issue of the materialisation of the fleeting phenomenon of sound and radio waves. A description of a very particular and at the same time experimental issue is taken up in Fania Kolaiti's text. She points out that 3D printing technology in the design and production of ceramics offers the possibility of producing functional architectural units that achieve a high degree of durability, structural complexity, making it possible to prevent production problems that occur in analogue processes. The new technology minimises waste

and, therefore, the creation process is less time-consuming. The theoretical discussions address the important issue of sustainable lifestyles, taking into account that art and design can influence new modes of social and cultural behaviour characterised by environmental awareness.

The aforementioned considerations are complemented by the presentation in the third part – *Digital Lineage* – of a set of works by selected authors that highlight the multifaceted and layered nature of the issues addressed in the monograph. *Music score*, a research project by Małgorzata Kaczmarek, concerning the artistic concept for the interior façade of a building dedicated to music; *Meander* by Monika Aleksandrowicz as a parable of the artist's path – from an idea to the realisation of a personal vision of art; *Braid* by Magdalena Grzybowska, which refers to the creation of magical weaves, chains and braids, but also has some connotations with the world of mathematics; *Organometrie* by Katarzyna Gemborys and Łukasz Szatanek, in which the organic form of glass meets the geometric form of polymer; and *Tadpole and Tadpole micro* by Michał Staszczak, which deal with the problem of scale and uniqueness of a work of art.

The reflections presented in the publication prove that the creative activity of artists is mediating, between scientific experimentation, experience generated by new technologies and social reception and adaptation. It is not only the creators, but also the present-day society, ourselves, who are confronted with creative possibilities previously inaccessible to man in the face of which new reactions new concepts and definitions need to be developed still based on humanistic values and relating with care and direct involvement to the protection of the environment. Creativity is a tool that changes the world and human life. We can only hope that it will always serve important purposes in respecting the ecosystem and human well-being.

Monika Aleksandrowicz & Małgorzata Kaczmarek



I.

**MODELOWANIE NOWYCH ŚWIATÓW —
MODELLING NEW WORLDS**

Celem artykułu jest poruszenie kilku istotnych, z punktu widzenia filozofii, problemów, składających się na podstawowe zagadnienie, związane z pytaniem o to, co jest przedmiotem sztuki, czy bardziej uszczegóławiając – jaki jest jego status. Pole działalności artystycznej, skupione wokół szeroko rozumianego druku trójwymiarowego, zdaje się stanowić zarówno inspirację, jak i dobry punkt wyjścia do powyższych pytań. Tym bardziej celowe jest zbadanie, w jakim zakresie mógłby on stanowić próbę skonstruowania na nie odpowiedzi w ramach tworzącego się, być może, właściwego dla tego kierunku w sztuce współczesnej języka. Pierwszym z interesujących mnie w tym kontekście aspektów jest zawarta w tego typu artefaktach tendencja do powielania, multiplikacji, obejmująca zarówno wirtualny model 3D, wydruk, jak również sam algorytm i jego nośnik. Następnie, korelację składających się na dzieło elementów omówię w odniesieniu do sytuacji poznawczo-percepcyjnej zarówno twórcy, jak i odbiorcy.

Słowa kluczowe: powielanie, wirtualność, materia, druk 3D

Drukując idee, drukując przedmioty - ontologiczna analiza dzieł sztuki stworzonych z wykorzystaniem technologii wydruku 3D

— Jacek Romański

Niezależny naukowiec

poczta.jacek7@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-0435-241X>

Od kiedy ludzka percepcja zaczęła iść w parze z namysłem, człowiek poszukiwał środków wyrazu dla własnych przemyśleń względem tego, co percypowane, równocześnie starając się nadać zmiennym formom natury bardziej stały kształt, ekstrahując z nich to, co jawiło mu się jako ogólne w poszczególnych jej przejawach. W ten sposób tworzył niejako model, przybliżenie świata dającego odtąd ująć się w pewne stałe, zgodne z jego przemyśleniami ramy. W tym kontekście trwałość wydawała mu się zapewne, spośród wielu innych wartości jedną z najważniejszych. Wybór materiału, mającego przetrwać indywidualny czas istnienia twórcy, oraz zwrócenie się ku domniemanym ogólnym prawidłom pozwalały, wbrew heraklitejskiemu biegowi spraw, na uzyskanie wrażenia zatrzymanego kadru, do którego można było odnosić wielość i różnorodność wciąż zmieniającego się świata, żywiąc równocześnie nadzieję, że tak powstały artefakt, pozwalający na moment zatrzymać bieg rzeczy, byłby równocześnie wyrazem pewnej trwałości wyższego rzędu [14, s. 42]. Współczesnemu człowiekowi, coraz trudniej jednak wyrazić ową domniemaną trwałość, ów stabilny punkt odniesienia, wokół którego może toczyć się dyskusja. Rozwój spowodował głębokie zmiany w sposobie postrzegania i myślenia o świecie. Zauważył to już Heidegger, wskazując, iż rozważania – dotyczące metafizycznego wymiaru rzeczywistości – muszą pozostawać otwarte na technologię. Innymi słowy, może ona dopełniać, uzupełniać metafizykę. Ta, z kolei, nie powinna ustawać w przybliżaniu przedmiotu swoich dociekań, rozumianego tutaj jako przedmiot przedstawień. Konieczna w tym celu jest, jego zdaniem, rezygnacja z potocznego przedstawienia techniki, rozumianej instrumentalnie i określonej

antropologicznie. Owo potoczne jej rozumienie zdaje się słabnąć w toku zadawanych o nią samą pytań. Jedynie w ten sposób technika przestanie być sposobem, instrumentem, pozwalając odtąd na odkrywanie tego, co niemiecki filozof nazywa prawdziwością (*Wahr-heit*) [5, s. 225, 231].

Można zatem domniemywać, że człowiek – w ujęciu Heideggera – dążyłby, m.in. poprzez technikę, do zdewoalowania immanencji rozumianej tutaj jako Bycie (*das Sein*). Jak wiadomo, nie pozwalały jednak na to zbyt silne jeszcze u niego konotacje metafizyczne [15, s. 269-281]. Należy wspomnieć, że kolejnym krokiem w stronę krytyki metafizyki byłyby np. deleuzjańskie koncepcje – wstępnie różnicy (*la différence*), później kłącza (*le rhizome*). O ile Heidegger wskazuje tu na cel badań i przedsięwzięć naukowych, filozoficznych, artystycznych itp., trudno jednak współcześnie w odniesieniu do jego filozofii stworzyć metodologię, będącą w stanie odzwierciedlić rzeczywiste skomplikowanie, będące udziałem tak szerokiej, operującej na wielu płaszczyznach działalności człowieka dziedziny, jaką jest wydruk np. 3D. Deleuzjańska krytyka, idąca o krok dalej niż heideggerowska, mimo że przybliżyła w pewien sposób cel dążeń niemieckiego filozofa, tym bardziej nie sprawdzi się jako narzędzie badawcze. Znajdujemy się zatem w sytuacji, w której zbyt mocne konotacje metafizyczne nie są w stanie oddać wielopłaszczyznowej, wielowymiarowej przestrzeni współczesności. Ich krytyka, z kolei, na niewiele się zdaje, szczególnie wobec prób pewnego usystematyzowania nowych zjawisk, z jakimi mamy obecnie do czynienia, i które stanowią przedmiot badań niniejszego artykułu. Konieczne są zatem rozwiązania, które pozwalają badać tę stosunkowo nową dziedzinę wydruku 3D, równocześnie przybliżają nam to, co w niej samej pozostaje istotne. Na tym gruncie szczególnie strukturalizm jawi się tu jako obiecujące narzędzie metodologiczne.

Zanim jednak ukazę jego możliwe zastosowanie, chciałbym omówić, na czym się zasadza owo zwielokrotnienie – multiplikacja właściwa współczesnej technice, w jej szczegółowym przypadku, jakim jest druk 3D. Po pierwsze, wymagany jest materialny nośnik, na którym zapisane zostaną dane w postaci algorytmu. Dane te mogą pochodzić ze świata zewnętrznego i zacytywane na ów nośnik przy pomocy skanera. Twórca operuje tak przetworzonymi danymi w celu uzyskania możliwie precyzyjnego cyfrowego zapisu wyglądu przedmiotu, który to wygląd może teraz zostać odtworzony w materiale drukowalnym. W tym przypadku nacisk położony jest na czynność skanowania i odtwarzania. W drugim przypadku, istotniejszą rolę pełni drukarka, dzięki niej można w precyzyjny sposób zrealizować np. wzory geometryczne o wysokim stopniu skomplikowania, niewykonalne bez użycia tej technologii.

Zatem, w jednym przypadku tłumaczymy świat na język cyfrowy (by odtworzyć go ponownie w materiale), w drugim – realizujemy w materii formę istniejącą dotychczas pod postacią zapisu matematycznego. W obu przypadkach zmediatyzowany przez osobę twórcy przekaz pozostaje jedynie w pewnej relacji (np. podobieństwa lub analogii) z przedmiotem zainteresowania, z kolei efekt tej relacji (rozumiany tu jak dążenie do korelacji) może być powielony dowolną ilość razy zarówno w swojej formie cyfrowej, wirtualnej, jak i w postaci wydruku 3D. Mamy więc do czynienia z ciągłymi transpozycjami postaciowymi. Być może, dopiero współgrająca warstwa wzorów, cech indywidualnych, wirtualnych modeli oraz realizacji w materii tworzyłaby wielorakie, mogące zaistnieć w przestrzeni kultury dzieło. Zgodność, co do jego ostatecznego charakteru, pewna konwencja, usystematyzowanie, zdają się jednak oddalać nas od samego procesu twórczego, na gruncie którego, z kolei, możliwe staje się bardziej bezpośrednie z nim, czyli dziełem, obcowanie. O ile pewna praca koncepcyjna zdaje się konieczna, o tyle eksperyment pozwala na wspomniane krytyczne spojrzenie oraz wyrwanie się z kolein schematycznego myślenia i powtarzania tego samego, otwierając nas jednocześnie na twórczość, czyli miejsce spotkania obiorcy sztuki i artysty. Mamy tu zarazem do czynienia z pewnym sprzężeniem zwrotnym: wydruk inspiruje

powstawanie pewnych idei, które mogą poszerzać pole artystycznej aktywności, wskazując nowe obszary, mogące zostać przez nią zajęte czy wykorzystywane. Stąd też tytuł niniejszej pracy. Należy zauważyć, że sam algorytm, podobnie jak myśl, zdaje się znajdować w ciągłym ruchu pomiędzy swoimi materialnymi nośnikami. Ujawnia to kolejną cechę charakterystyczną dla wydruku 3D, mianowicie zdolność zachowywania, utrwalania przez kopiowanie. O ile w pewnych okresach sztuki poszukiwano trwałości w porządku wyższego rzędu, o tyle tutaj oznacza ona właśnie predyspozycje do kopiowania, zwielokrotniania. Horyzontem poznawczym, jaki moglibyśmy przyjąć, jest ostateczna możliwość replikacji idei w formie pozapodmiotowej czy pozaludzkiej. Byłoby to w swej istocie podejście kartezjańskie; idea trwałości poprzez powielenie daje bowiem nadzieję na wyjście z klatki reprezentacji, tę samą w gruncie rzeczy, co kartezjańska idea nieskończoności. To na jej płaszczyźnie porozumienie staje się możliwe. Jednak w tym samym nieomalże momencie wkradają się nieścistości, zniekształcenia, wywołane wspomnianym relacyjnym i mediacyjnym charakterem tej twórczości [8, s. 29].

Dla Platona światem realnym był świat idei, świat rzeczy materialnych stanowił dla niego jedynie ich dalekie niedoskonałe odbicie, cień. Droga ku nim wiodła – z jednej strony poprzez kontemplację owych niedoskonałych realizacji, ze szczególnym zwróceniem uwagi na występującą w nich jednak w pewnym zakresie regularność i porządek, będących cechą idei samych, z drugiej – możemy obserwować u niego ruch odwrotny, od idei poprzez formy matematyczne ku realizacjom materialnym [16, s. 87-89]. W odniesieniu do współczesnej sytuacji można powiedzieć, iż poszukiwanie owej regularności (wzoru na świat) prowadzi do ciągłego udoskonalania algorytmów, skutkując coraz doskonalszym odwzorowaniem przedmiotów świata zewnętrznego, przykładem są tu dzieła Rogera Magriniego czy Hadi Karimiego.

Należy zadać pytanie, czy nie mielibyśmy do czynienia z pewnym procesem twórczym, wpisującym się w szeroko pojęty projekt skopiowania świata, w możliwie najszerszym zakresie, przy czym horyzontem byłby tu pewien ideał rozumiany na podobieństwo borgesowskiej mapy, tożsamej z terenem, który pokrywa. U genezy takiego podejścia zdaje się leżeć pragnienie doskonałego odtworzenia przedmiotu zainteresowania, będącego zarazem pragnieniem zrozumienia go takim, jaki jest on w swojej istocie, w pełni, idealnie – zamysł na tyle nieosiągalny, że pełny, doskonały opis nie miałby już niczego w sobie, co mogłoby zostać skopiowane, byłby zatem niekopiowalny, oryginalny, stanowiąc intuicyjnie pojmowaną ideę, o której nic nie da się już powiedzieć. Rzeczywista sytuacja wskazuje jednak na inny stan rzeczy. Póki co, jesteśmy w stanie odtworzyć tylko wyglądy i to w niedoskonały sposób, ale jeżeli odtwarzamy, to dlatego że chcemy zrozumieć; dopóty zaś odtwarzamy, dopóki nie zrozumiemy, że nie ma niczego do odtworzenia, ani pomyślenia, co też w niedoskonałym akcie twórczym będziemy chcieli oddać możliwe jak najwierniej. Z drugiej – strony okazuje się, że mamy do czynienia z formami drukowanymi, niespotykanymi wcześniej w naturze (które bez drukarki nie byłyby możliwe do zrealizowania), co może wskazywać na pewną uprzedniość wzorów, np. matematycznych, dopiero mogących się zrealizować w materii (platońskie zstępowanie idei). W tym przypadku nie poszukujemy już reguł w świecie empirycznym, lecz używając go, w pewnym zakresie jako tworzywa, możemy uzewnętrznic w niespotykanym dotąd przybliżeniu, np. wspomniane formy geometryczne, np. twórczość Henri Segermana. Poszukując na tej płaszczyźnie powiązań pomiędzy filozofią a sztuką, powyższe przykłady stanowiłyby dobrą ilustrację, a być może – nawet kolejną odsłonę sporu o samoistość i pierwotność czy to materii, czy idei, być może w jego dialektycznej postaci, w której odniesienie do jednego staje się możliwe jedynie poprzez odróżnienie, ustawienie w opozycji jednego do drugiego (materii od myśli, myśli od materii) [9, s. 137]. Można jednak domniemywać, że algorytm nigdy nie będzie w stanie w pełni odwzorować rzeczywistości, a z drugiej strony – materialna realizacja przedmiotu matematycznego nigdy prawdopodobnie nie będzie

doskonała. Problematyka ta przyjmuje współcześnie bardzo praktyczny wymiar. Otóż, często występującym problemem, związanym z drukowaniem 3D, jest rozbieżność pomiędzy modelem a efektem w postaci wydruku, będąca skutkiem niedopasowania geometrii CAD do możliwości drukarki. Wymaga to opracowania tzw. ontologii DMA, stanowiących pomost pomiędzy światem cyfrowym a materialnym, proponowanych m.in. przez Goguelina [4].

Należy zwrócić uwagę, że jest to proces zakładający, że wiemy, czym jest, znamy przedmiot, który chcemy odtworzyć. Praktyka ściśle filozoficzna, a być może również artystyczna, pozostawałaby w tej kwestii bardziej w nurcie sceptycyzmu, czy nawet pojmowania świata w kategoriach różnicy (la différence), wywodzącego się, jak się zdaje, z szeroko rozumianej tradycji myślenia krytycznego, o którego wadach już wspomniałem. Wskazuje ona jednak na trzeci aspekt działalności związanej z wydrukiem 3D i sztuką w ogóle, mianowicie odróżniający się od naśladowania czy kopiowania aspekt twórczy, związany, jak się wydaje, nie tyle z konwencją, co z nieskrępowaną wyobraźnią eksperymentującą, być może na wzór kantowskiej wyobraźni transcendentalnej.

W tym sensie filozofia Serresa jawiłaby się tu jako ogniwo pośrednie między destrukcyjną, lecz otwierającą nas na empirię i eksperyment mocą różnicy (la différence), a koniecznością uzyskania założonych efektów w możliwie precyzyjnym stopniu, czy wręcz samą koniecznością komunikacji. Podaje on przykład rysunku kwadratu na piasku, zwracając uwagę, iż mówiąc o nim, nie ma na myśli owego nieregularnego wykresu, jawiącego się przed jego oczami, ale przywołuje jego idealną formę, eliminując to, co empiryczne, dematerializując rozumowanie. Jedynie poprzez usunięcie hałasu, szumu – wszystkiego tego, co skrywa formę. Możliwa staje się, jego zdaniem, nauka i ścisłość, możliwa staje się matematyczna forma uniwersalna sama w sobie, jak i równocześnie dla nas [13, s. 44]. Bez czystej formy, dla każdej realizacji, jak zauważa, konieczna byłaby osobna nazwa, a każda rzecz postrzegana byłaby w sposób nieokreślony:

inne słowo byłoby potrzebne dla każdego koła, dla każdego symbolu, dla każdego drzewa, dla każdego gołębia; a jeszcze inne słowo dla wczoraj, dziś i jutro; a jeszcze inne słowo w zależności od tego, czy tym, który to postrzega, jesteś ty, czy ja; w zależności od tego, czy jeden z nas jest zły, czy ma żółtaczkę, i tak dalej ad infinitum. W skrajnej konsekwencji empiryzmu, sens jest totalnie zanurzony w szumie, przestrzeń komunikacji jest granularna [13. s. 44].

Jednak nawet przy założeniu maksimum abstrakcji, konieczne zdaje się jakieś minimum materii, empirii. Wracamy zatem do wspomnianej nieścisłości, poruszając się w sferze wielorakiej mediacji, poprzez którą zawsze coś tracimy, nie będąc zatem w stanie ostatecznie określić natury przedmiotu. Trudno byłoby więc przyjąć w powyższym kontekście jakiegokolwiek jednoznaczne rozstrzygnięcia (czy to na korzyść materializmu, czy idealizmu), tym bardziej że sama logika ontologii prowadzi nas koniec końców do parmenidesowskiej opozycji pomiędzy tym, co bytem jest, a tym, czego w ogóle nie ma [9, s. 145].

Widzimy więc, że zagadnienia związane z drukiem 3D cechuje nieokreśloność, wynikająca z istoty samego zwielokrotnienia, tendencji do powielania, a także z niemożliwości opisu, pełnego odzwierciedlenia czy to wyglądom zewnętrznym, czy też wzorów, których przyczyną, jak pisze Serres, zdaje się kłopotliwa natura samej empirii.

Tak jak w sztuce, to co odwzorowywane, zostaje zniekształcone, zmienione, tak samo badania nad procesami twórczymi, m.in. wykorzystującymi wydruk 3D, obarczone są pewnym wspomnianym już komunikacyjnym szumem, pewną nieścisłością. Pomijanie go może być jednak błędem, ponieważ (nawiązując do przywołanej właśnie w tym

kontekście tradycji krytycznej) wskazywać może on na samą genezę twórczości. Równocześnie, konieczne staje się jednak wypracowanie pewnej „prawdy” o nich, rozumianej tu jako najbliższe możliwe pojęciowe uściślenie relacji, zachodzących pomiędzy pewnymi nieodokreślonymi elementami zbioru. Uściślenie to przybierałoby formę struktury, realizującej się w konkretnej sytuacji, wytworzonej przez te elementy [13, s. 11]. Przywołam tu definicję struktury Michel Serres: jest to zbiór operacyjny o nieokreślonym znaczeniu, który grupuje elementy w dowolnej liczbie, których treść nie jest określona, oraz relacje w skończonej liczbie, których natura nie jest określona, ale których funkcja i pewne skutki w odniesieniu do elementów są określone.

Struktura ta wymyka się do pewnego stopnia dialektyce i prostemu rozumowaniu (swoją szczególną rolę pełni tu zapewne wspomniana empiria), z tego powodu nie tyle opisuje, co zdolna jest wpisywać się w skomplikowane relacje, zachodzące na płaszczyźnie m.in. wydruku 3D, niemniej również dzięki niej wyłania się ich bardziej usystematyzowany obraz. Mamy więc tutaj do czynienia, wobec skomplikowania przedmiotu badań, z pewną jednoczącą metodą, jednakże poprzez właściwy jej stopień otwarcia na nieokreśloność i złożoność, nie jest to metoda trywializująca ów przedmiot (co czyniłoby zadość wspomnianym na początku założeniom Heideggera odnośnie osłabiania potocznego znaczenia techniki). Należy dodać, iż choć zdaniem Serresa to empiria zniekształca idealny obraz, to jednak pewne otwarcie się na nią (w duchu *différence*, zatem wspomniane wady okazywałyby się tu po części zaletami) zdaje się być warunkiem udanego eksperymentu, a więc twórczości.

Podążając za Serresem i uściślając, mielibyśmy tu do czynienia z przejściem od myślenia w kategoriach liniowej przyczynowości do modelu przestrzennego, jakim jest diagram. W pierwszym przypadku, jak pisze francuski filozof, chodzi o najkrótszą możliwą drogę rozumowania, w drugim okazuje się, że ta „logicznie” najkrótsza droga jest tylko jedną z wielu, które można obrać, na dodatek najmniej ciekawą. Takie ujęcie pozwalałoby na stworzenie modelu zdolnego reprezentować świat rozumiany jako pewnego rodzaju ruchomą, ciągle zmieniającą się w czasie sytuacją. Serres proponuje w tym celu wyobrazić sobie figurę, rodzaj wspomnianego diagramu z wieloma połączonymi rozgałęziającymi się ścieżkami oraz wierzchołkami. Każdy z wierzchołków to teza lub zbiór empiryczny, każda ścieżka to relacja między tezami, albo przepływ pomiędzy określeniami empirycznymi. Żaden z wierzchołków nie jest tu uprzywilejowany względem innego, nie jest hierarchicznie podporządkowany, lecz dysponuje własną, zmieniającą się w czasie, siłą determinującą. Występuje tu zatem związek pomiędzy dwiema tezami, wzajemnie różnicując się wewnątrz siebie – przez co tworzy się maksymalnie nieregularny schemat. W tym przypadku regularny schemat jest tylko szczególnym przypadkiem owego zróżnicowania. Na czym polega owo zróżnicowanie? Otóż, gdy wierzchołek zmienia miejsce, to przekształca się równocześnie cała sieć i sytuacja wszystkich wierzchołków staje się inna, podobnie jak i zmianie ulegają ścieżki. W modelu diagramu, proponowanym przez Serresa, obserwujemy wielość możliwych ścieżek od wierzchołka do wierzchołka, mogących przebiegać przez dowolną ilość punktów, a w zasadzie przez wszystkie z nich. Liczba ścieżek jest bardzo duża (o ile liczba wierzchołków jest skończona). To właśnie sprawia, że nie istnieje jedna „logicznie” konieczna, najkrótsza ścieżka od tezy do antytezy, niosąca ze sobą jednoznaczność określeń, jest ona tylko jedną z możliwości, w wielowątkowej, wielowymiarowej sytuacji, którą ilustruje diagram [13, s. 14].

W ten sposób również niniejsza analiza problematyki wydruku 3D, określana przez pryzmat takiej a nie innej matrycy filozoficznej, zdaje się jednym z możliwych ujęć zagadnienia przedmiotu sztuki. Jeżeli w sztuce, związanej z wydrukiem 3D, chodziłoby o poszukiwanie prawdy o jej własnym przedmiocie, to niezależnie od tego, czy

przyjmujemy, iż mamy do czynienia z materią czy ideą, czy skłaniamy się bardziej ku realizmowi ontologicznemu, czy ku ontologicznemu idealizmowi, to poprzez coraz doskonalsze możliwości odtwarzania i kreacji technologia ta zdaje się nas do tej prawdy zbliżać. Wynalezienie tego rodzaju druku stanowi z pewnością krok naprzód w rozumieniu świata. Ale równocześnie nie należy zapominać, iż konieczna jest ciągła krytyka, eksperyment niepozwalający ustawać w próbach ukazania go takim, jaki jest – a nie takim, jak o nim myślimy, że jest i na tej podstawie próbujemy ponownie odwzorowywać.

Coraz większe możliwości drukarek dają równocześnie nadzieję na to, że wydruk 3D dogłębnie zmieni sposób, w jaki postrzegamy i rozumiemy otaczającą nas rzeczywistość. Pierwsze słowo w tej kwestii z pewnością zostało już wypowiedziane. Po Gutenbergu mogliśmy dokładniej opisywać świat, dostęp do wiedzy stał się powszechny, co z pewnością było jedną z przyczyn rewolucji społeczno-kulturalnej. Obecnie widzimy, jak coraz bardziej sprecyzowany i skodyfikowany język programowania pozwala nam, między innymi, odtwarzać dalece skomplikowane struktury rzeczywistości. Być może, wartym zadania pytaniem jest to, do jakiego stopnia może on pomóc ją zrozumieć, czyli przybliżyć się do jej istoty. Nakreślony został tu tym samym pewien ogólny zarys szeroko pojmowanej płaszczyzny wydruku 3D, który może służyć badaniom nad jej poszczególnymi przejawami, nie stanowiąc równocześnie z góry narzuconej matrycy, lecz do pewnego stopnia wpisujący się w sam proces twórczy.

The aim of this paper is to touch upon some philosophically important problems that make up the basic issue of what is the object of art or, more precisely, what its status is. The field of artistic activity focused around broadly understood three-dimensional printing seems to be both an inspiration and a good starting point for the above questions. It implies all the more purposeful attempt to examine to what extent it could constitute an endeavour to construct the relevant answer within the framework of a language, which perhaps is being formed, proper for this direction in contemporary art.

The first aspect I am interested in in this context will be the tendency for multiplication embodied in this type of artifacts, including both the virtual 3D model, the printout, as well as the algorithm itself and its carrier. Then, I will discuss the correlation of these elements constituting the artwork in relation to the cognitive-perceptual situation of both the creator and the viewer.

Keywords: reproduction, virtuality, matter, 3D printing

Printing ideas, printing objects – an ontological analysis of artworks created using 3D printing technology

— **Jacek Romański**

Independent scientist

poczta.jacek7@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-0435-241X>

Since human perception began to go hand in hand with reflection, man has been searching for means of expression for his own thoughts on what is perceived, trying at the same time to give the changing forms of nature a more stable shape, extracting from them what appeared to him as general in its manifestations. In this way, he created a kind of a model, an approximation of the world, which from then on could be included in some fixed framework, consistent with his reflections. In this context, durability seemed to him, among many others, to be one of the most important values. The choice of material which was to survive the individual time of the artist's existence, as well as turning to supposed general rules, made it possible – contrary to the Heraclitan course of events – to achieve the impression of a frozen frame, to which one could relate the multitude and variety of the ever-changing world, hoping at the same time that the artifact created in this way – allowing to stop the course of things for a moment – would at the same time express a certain permanence of a higher order [14, p. 42].

The contemporary man, however, finds it more and more difficult to express this supposed permanence, this stable point of reference around which the discussion may revolve. Civilizational development has caused profound changes in the way we perceive the world and think about it. Heidegger noticed it before and indicated that reflections on the metaphysical dimension

of reality must remain open to technology, in other words, it can complement, supplement metaphysics. On the other hand, metaphysics should not stop bringing closer the object of its investigations, perceived here as the object of representations. Therefore, in his opinion, it is necessary to resign from the common presentation of technology understood instrumentally and defined anthropologically. This colloquial understanding of technology seems to abate, when we ask questions about itself. Only in this way will technology cease to be a manner, an instrument, since allowing for discovering what the German philosopher calls truthfulness (*Wahr-heit*) [5, p. 225, 231].

Thus, one can presume that man, in Heidegger's view, would strive, among other things, through technology to unveil the immanence understood here as Being (*das Sein*). Nonetheless, as we know, metaphysical connotations still too strong for him, did not allow for this [15, p. 269-281]. It should be mentioned that another step towards a critique of metaphysics would be, e.g., the Deleuzian concepts of initially difference (*la différence*), later rhizome (*le rhizome*). While Heidegger points here to the goal of research as well as scientific, philosophical, artistic, etc. endeavours, today it is difficult to create a methodology based on his philosophy that would be able to reflect the actual complexity involved in such a broad, multifaceted field of human activity as e.g., 3D printing. Deleuzian critique, going one step further than the Heideggerian one, even though it somewhat brings closer the goal of the German philosopher's aspirations, does not work as a research tool. Thus, we are in a situation in which too strong metaphysical connotations are not able to reflect the multifaceted, multidimensional space of contemporaneity, while their criticism is of little use, particularly in the face of attempts to systematize new phenomena, which we are currently dealing with and, which make the subject of this paper's analysis. Thence, there is a need for solutions which, while making it possible to study this relatively new field of 3-D printing, will at the same time bring us closer to what remains its core. On this ground, structuralism appears here as a promising methodological tool.

However, before I present its possible applications, I would like to discuss what this multiplication inherent in contemporary technology, in its particular case 3D printing, is based on. Firstly, a material medium is required, on which data in the form of an algorithm will be written. This data can come from the outside world and be read into this carrier through a scanner. The creator operates on such processed data in order to obtain a possibly precise digital record of the appearance of the object, which now can be reproduced in a printable material. In this case, the emphasis is on the scanning and reproduction activity. In the second case, the more important role is played by the printer, thanks to which it is possible to produce it precisely, for example, geometric patterns with a high degree of complexity, not feasible without the use of this technology.

So, in the first case, we translate the world into a digital language (to reproduce it again in the material), in the other case, we substantialise in matter a form existing beforehand in the shape of a mathematical notation. In both cases the message mediated by a person of the creator remains only in some relation (e.g., similarity or analogy) with the object of interest, meanwhile the effect of this relation (understood here as the pursuit of correlation) can be reproduced any number of times both in its digital and virtual form as well as in the form of a 3D printout. Ergo, we are dealing with continuous character transpositions. Perhaps, only the interplay of the layer of patterns, individual features, virtual models, and realization in the matter would create a multiple work that could exist in the space of culture. The conformity considering its final character,

certain convention or, systematization, however, seem to distance us from the creative process itself, on the ground of which a more direct contact with it - that is with the artwork - becomes possible. Therefore, while certain conceptual work seems necessary, the experiment allows for the above-mentioned critical look and for breaking out of the rut of schematic thinking and repetition of the same thing, opening us up to creativity, that is the place where the viewer of art and the artist meet. At the same time, we are dealing here with a kind of feedback: the print inspires the creation of certain ideas, which further can broaden the field of artistic activity, indicating new areas that can be occupied or used by it. Hence the title of this paper. It should be noted that the algorithm itself, just like a thought, appears to be in constant motion between its material carriers, which reveals another characteristic of the 3 D print - namely the ability to preserve, to fix by copying. So, if in some periods of art durability was sought in a higher order, here it means rather the predisposition to copying or multiplying. The cognitive horizon we could adopt in this analysis is the ultimate ability to replicate ideas in a non-subjective or non-human form. This would be, in essence, a Cartesian approach, as the idea of permanence through replication offers the hope of breaking out of the cage of representation, the same in essence, as the Cartesian idea of infinity. It is on its plane that understanding becomes possible. However, at almost the same moment, inaccuracies, and distortions creep in, brought about by the aforementioned relational and mediational nature of this work [8, p. 29].

For Plato, the real world was the world of ideas, while the world of material things was for him only their distant imperfect reflection, a shadow. The way towards them led, on the one hand, through contemplation of those imperfect realizations, with particular attention paid to the regularity and order existing in them to some extent, which are the characteristics of the Ideas themselves, and, on the other hand, we can observe here the opposite movement, from the Ideas through mathematical forms towards material realizations [16, p. 87-89]. In relation to contemporary situation, we can say that searching for this regularity (a model for the world) leads to constant improvement of algorithms, resulting in more and more perfect representation of objects of the external world, as exemplified by the works of Roger Magrini or Hadi Karimi. Therefore, we should ask a question whether we would not have to deal with a certain creative process being a part of a broadly understood project of copying the world in the widest possible range, where the horizon would be a certain ideal understood on the similarity of Borges's map, which is identical with the terrain it covers. At the base of this approach seems to lie a desire for a perfect reproduction of the object of interest, which is at the same time a desire to understand it as it is in its essence fully and ideally - a concept so unattainable that a full, perfect description would have nothing left to copy, thus it would be uncopyable, original, constituting an intuitive idea about which nothing can be said. The actual situation, however, indicates a different state of affairs. For the time being, we are only able to reproduce appearances, which is an imperfect method. And yet, if we still do, it is because we want to understand, and we will reproduce for as long as we understand that there is nothing to reproduce or think of, and this is what we want to render as accurately as possible in an imperfect creative act. On the other hand, it turns out that we have to do with printed forms not encountered before in nature (which, without a printer, would not be possible to implement), that may indicate some antecedence of e.g., mathematical formulae only feasible in matter (Platonic descent of ideas). In this case, we are no longer looking for rules in the empirical world, but using it, to a certain extent, as a material, we can externalize in an unprecedented approximation, for example, the mentioned geometric forms (e.g., works of

Henri Segerman). If we look for connections between philosophy and art, the above examples could make a good illustration, if not even path the way to the next stage of the dispute about self-existence and primordially of either matter or idea, possibly in its dialectic form, where reference to one becomes possible only through distinguishing, setting in opposition one to the other (matter from thought, thought from matter) [9, p. 137]. It can be presumed, however, that an algorithm will never be able to fully represent reality, yet then again, the material realization of a mathematical object will probably never be perfect. This problem takes on a very practical dimension nowadays. Well, a common problem associated with 3D printing is the discrepancy between the model and the effect in the form of print, resulting in mismatch between the CAD geometry and the capabilities of the printer. This requires the development of so-called DMA ontologies that bridge the gap between the digital and material worlds as proposed, among others, by Goguelin [4]. It should be noted that this is a process assuming that we know what it is, we know the object that we want to reproduce. A strictly philosophical practice, and perhaps also an artistic one, would remain in this respect more in the stream of scepticism, or even understanding the world in terms of difference (*la différence*), which seems to derive from the broadly understood tradition of critical thinking, whose flaws I have already mentioned.

It does, however, point to a third aspect of the activity of 3D printing and art in general, namely the creative aspect that is distinct from imitation or copying, linked, as it seems, not so much to convention as to an unfettered experimental imagination, perhaps on the model of Kantian transcendental imagination.

In this sense, Serre's philosophy could be seen as a link between the destructive power of difference, which opens us to empiricism and experiment, and the necessity of achieving the assumed effects in the most precise way possible, or even the necessity of communication itself. He gives an example of a drawing of a square on the sand, pointing out that while speaking about it, he does not mean this irregular graph appearing before his eyes, yet he recalls its ideal form eliminating what is empirical, dematerializing reasoning. Only by eliminating the noise, the clamour of everything that hides the form, does science and exactness become possible, does the mathematical form become possible, universal in itself and for us at the same time [13, p. 44]. Without pure form, as he notes, a separate name would be necessary for each realization, and each thing would be perceived in an indefinite way:

"a different word would be needed for each wheel, for each symbol, for each tree, for each pigeon; and yet another word for yesterday, today, and tomorrow; and yet another word depending on whether the one who perceives it is you or me; depending on whether one of us is angry or jaundiced, and so on ad infinitum. In the extreme consequence of empiricism, sense is totally immersed in noise, the space of communication is granular" [13, p. 44].

Still, even assuming a maximum of abstraction, some minimum of matter, of empiricism, seems necessary. And so, we come back to the aforementioned incongruity moving in the sphere of multiple mediations through which we always lose something, thus not being able to definitively determine the nature of the object. It would be difficult, therefore, to accept any unambiguous solution in the above context (whether in favour of materialism or idealism), the more so that the very logic of ontology leads us, in the end, to the Parmenidean opposition between what is being and what is not being at all [9, p. 145].

Therefore, we can see that issues related to 3D printing are characterized by indeterminacy, resulting from the nature of the multiplication itself, the tendency to duplication, and also from the futility of description, an exhaustive reflection of either external appearance or patterns, whose cause, as Serres writes, seems to be the troublesome nature of empiricism itself.

Just as in art, what is reproduced gets distorted and changed, thus the research on creative processes using, among others, 3D printing is burdened with the mentioned before communication noise and some inaccuracy. However, ignoring it should rather be considered a misconception, as (based on the critical tradition cited in this context) it may point to the very origin of creativity. At the same time, it becomes necessary to work out some "truth" concerning them, understood here as the closest possible conceptual clarification of relations between some undefined elements of the set. This clarification would take the form of a structure realized in a specific situation created by these elements. I will recall here the definition of structure by Michel Serres: it is an operational set of undefined meaning, which groups elements in any number, whose content is not defined, and relations in a finite number, whose nature is not defined, but whose function and certain effects in relation to the elements are defined [13, p. 11].

This structure, to a certain extent, escapes dialectics and simple reasoning (empiricism probably plays its special role here) and for this reason it does not so much describe as it is able to inscribe itself in the complex relations occurring on the plane of, inter alia, 3D printing, but also thanks to it, a more systematic picture can emerge. Therefore, we are dealing here, due to the complexity of the object of study, with some sort of a unifying method, however, due to its appropriate degree of openness to indeterminacy and complexity, it is not a method that trivializes this object (which would do justice to Heidegger's assumptions mentioned at the beginning, on the weakening of the colloquial meaning of technology). It should also be added that although according to Serres it is empiricism that distorts the ideal picture, a certain openness to it (in the spirit of difference so the mentioned disadvantages would turn out to be in part advantages) seems to be a condition of a successful experiment, that is creativity.

Following Serres and making it more specific, we would be dealing here with a transition from thinking in terms of linear causality to the spatial model that is a diagram. In the first case, as the French philosopher writes, it is about the shortest possible way of reasoning, in the second case it turns out that this "logically" shortest way is only one of many that can be taken, and the least interesting one at that. Such an approach would allow for the creation of a model capable of representing the world understood as a kind of mobile constantly changing situation in time. Serres proposes for this purpose to imagine a figure, a kind of the aforementioned diagram with many connected branching paths and vertices. Each vertex is a thesis or empirical set, each path is a relation between theses, or a flow between empirical terms. No vertex here is privileged over another and is not hierarchically subordinate, but has its own time-varying, determining power. Thus, there is a relationship between two theses, an interplay between two situations that fluctuates constantly, continually varying internally and in this way creating a maximally irregular pattern. In this case, the regular pattern is only a special case of this differentiation. What is this differentiation based on? Well, when a vertex changes its place, the whole network transforms at the same time, and the situation of all vertices becomes different, as do the paths. In the diagram model proposed by Serre, we observe

a multiplicity of possible paths from vertex to vertex that may pass through any number of vertices or, in fact, through all of them. The number of paths is very large (as long as the number of vertices is finite). This is what makes that there is no one "logically" necessary, shortest path from thesis to antithesis, carrying the unambiguity of the terms, it is just one of the possibilities, in the multithreaded, multidimensional situation, which the diagram illustrates [13, p. 14].

In this way, also this analysis of the of 3D printing problem defined through the prism of such and not another philosophical matrix, seems to be one of the possible approaches to the issue of the object of art. If the art of 3D printing consists in the search for the truth about its own object, then regardless of whether we assume that we are dealing with matter or idea, regardless of whether we lean towards ontological realism or ontological idealism, this technology seems to bring us closer to this truth through its ever more perfect possibilities for reproduction and creation. At the same time, one should not forget that constant criticism is imperative, an experiment which does not allow us to stop trying to show it as it is rather than as we think it is and, on this basis, trying to reproduce it again.

Simultaneously, the increasing capabilities of printers give hope that 3D printing will profoundly change the way we perceive and understand the actuality. The first word in this regard has certainly already been spoken. After Gutenberg, we were able to describe the world more accurately, access to knowledge became universal. This certainly was one of the causes for the socio-cultural revolution. Nowadays, we see how an increasingly specified and codified programming language allows us, among other things, to reproduce far more complex structures of reality. Perhaps, the question worth asking is to what extent it can help us understand it, i.e., get closer to its essence. Thus, what has been outlined here, is a general description of the broadly understood plane of 3D printing, which can be used to study its individual manifestations, not constituting a matrix imposed from above, but to some extent inscribing itself in the creative process.

Bibliografia Bibliography

- [1] Crahay A., *Michel Serres La Mutation du Cogito, Genèse du Transcendental Objectif*, Bruxelles 1988.
- [2] Deleuze G., *Różnica i powtórzenie*, tłum. B. Banasiak, K. Matuszewski, Warszawa 1997.
- [3] Derrida J., *Prawda w malarstwie*, tłum. M. Kwietniewska, Gdańsk 2003.
- [4] Han Cf. J., Schaefer D., *An Ontology for Supporting Digital Manufacturability Analysis*, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827119305165?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=71a83e58ed54697b [data dostępu: 10.06.2022].
- [5] Heidegger M., *Budować, myśleć, mieszkać*, tłum. K. Wolicki, Warszawa 1977.
- [6] Heidegger M., *Bycie i czas*, tłum. B. Baran, Warszawa 2007.
- [7] Husserl E., *Medytacje kartezjańskie*, tłum. A. Wajs, Warszawa 2009.
- [8] Kartezjusz, *Rozprawa o metodzie*, tłum. T. Boy-Zeleński, Kraków 2004.
- [9] Lipiec J., *Etiudy ontologiczne*, Kraków 2013.
- [10] Myoo S., *Ontoelektronika*, Kraków 2013.
- [11] Ostrowicki M., *Materia sztuki*, Kraków 2010.

- [12] Platon, *Parmenides*, tłum. W. Witwicki, Kęty 1999.
- [13] Serres M., *Hermès I - Communication*, Paris 1969.
- [14] Worringer W., *Abstraction and empathy. A contribution to the Psychology of Style*, Chicago 1997.
- [15] Woźniak C., *Martina Heideggera myślenie sztuki*, Kraków 2004.
- [16] Wunenburger J.J., *Filozofia obrazów*, tłum. T. Stróżyński, Gdańsk 2011.
- [17] Zepke S., *Art. as Abstract Machine. Ontology and Aesthetics in Deleuze and Guattari*, New York 2005.



Rafał Kotwis, SP005/22, druk 3D, ABS lakierowany, 2022, wystawa: *Implikacje. Cyfra i bryła*, Wrocław
Rafał Kotwis, SP005/22, 3D printing, lacquered ABS, 2022, exhibition: *Implications. Number and solid*, Wrocław

Współcześnie technologia towarzyszy człowiekowi na każdym kroku. W wielu przypadkach doświadczamy świata za pośrednictwem elektroniki bądź wręcz jesteśmy w niej bezpośrednio zanurzeni. Świat nowych technologii otworzył przed ludzkością nowe horyzonty i poszerzył naszą rzeczywistość o przestrzeń wirtualną. Powstały narzędzia, umożliwiające modelowanie nowych światów i wymiarów, oraz technologie, przy pomocy których możemy urzeczywistnić kod binarny. Świat sztuki czujnie przygląda się tym zjawiskom i stara się zaimplementować nowe media na swoje potrzeby. W moim wystąpieniu skupiam się na ważnych dla mnie aspektach grafiki i druku 3D, na podstawie własnych doświadczeń pokazuję problemy i możliwości tej właśnie technologii z perspektywy doświadczeń artysty rzeźbiarza. Dotknę istotnych pojęć, takich jak: miejsce, skala, ciężar, grawitacja, produkcja, postprodukcja, jak również kuszący charakter pewnej magii ukrytej w świecie wirtualnym. Na pewno współcześnie pojawia się mnóstwo pytań, dotyczących ewolucji dzieła sztuki oraz materialnej potrzeby zaistnienia tego rodzaju wypowiedzi artystycznej. Być może, jest to następny etap, który nie zna granic twórczych, a być może nawet docelowy kierunek rozwoju najnowszych poszukiwań artystycznych człowieka. Jest to z pewnością niezwykle ciekawa przestrzeń, którą naprawdę warto poznawać i eksplorować.

Słowa kluczowe: Rzeźba, druk 3D, przestrzeń wirtualna, grafika

*Droga po druku. Pomiędzy przestrzenią wirtualną a realną
- analiza problemu na podstawie własnych doświadczeń*

— Rafał Kotwis

Wydział Rzeźby, Uniwersytet Artystyczny im. Magdaleny Abakanowicz w Poznaniu

rafal.kotwis@uap.edu.pl

 <https://orcid.org/0000-0002-0609-9967>

Droga do druku, droga po bruku, droga po druku. Tytuł ten nawiązuje do moich badań związanych z drukiem i grafiką 3D. Dotyczy on wieloletnich doświadczeń związanych, zarówno z wybranymi digitalnymi programami, jak i z wykładami i prelekcjami, które miałem możliwość wygłaszać na kilku wystąpieniach, zatytułowanych nie inaczej właśnie, jak: *Droga do druku*. Przy tak szeroko określonym zakresie interesujących mnie zagadnień, postanowiłem zawrzeć już w samym tytule związanych z tym rozważań pewną przewrotność. Myśl ta towarzyszyła mi wielokrotnie podczas doświadczenia procesów i specyfiki druku oraz wielu przeciwieństw, trudności i przeszkód, jakie mogą procesom tym towarzyszyć. Choć lokuje grafikę i druk 3D także w obszarach działań artystycznych, to mam również świadomość potencjału, jaki jest zawarty w tej technologii, mogącej się z całą pewnością przysłużyć bardzo silnie współczesnemu światu.

Grafika 3D towarzyszy mi niemalże od dwudziestu lat, a jej możliwości, specyfika i dostępność pozwoliły na otwarcie nowych możliwości twórczych i edycyjnych, zarówno artystom, jak i ludziom związanym ze zdecydowanie innymi profesjami. Druk 3D stał się w pewnym momencie swego rodzaju „magiczną różdżką”, która potrafi spełniać rozmaite marzenia. Przenosić obiekty wirtualne do świata realnego, co wydawać się może niemalże „cudem”

bardziej dostępnym w światach *science fiction* (SF), niż w tych ewidentnie nam znanych i realnych. Odnoszę jednak wrażenie, że wiele osób związanych z grafiką i drukiem 3D musi być, w jakimś sensie, zanurzona też w szeroko pojętym SF.

Nazwiska takich twórców, jak S. Lem, J. Dukaj, I. Asimov, F. Herbert czy P.K. Dick - nie powinny być im zatem obce, a kinematografia SF może być tymże osobom tak samo bliska, jak świat realny.

Na marginesie warto przypomnieć, że pierwsze wzmianki, dotyczące „druku 3D” w powieściach SF, pojawiły się prawdopodobnie w opowiadaniu Murray’a Leinstera *Things Pass By*, opublikowanym w 1945 roku w „Fantastic Story Magazine” (pamiętajmy, że w tym czasie powstawały dopiero pierwsze komputery). Warto, z całą pewnością, wspomnieć w tym kontekście o historii, początkach i fenomenie komputera, który obecnie jest już nie tyle narzędziem samym w sobie, co środowiskiem do tworzenia następnych narzędzi, a co za tym idzie - również możliwości, które kreują nasz świat realny. Bo czyż komputer i świat wirtualny nie stał się też w pewnym momencie punktem wyjścia do analizowania ludzkiego mózgu oraz rozległym obiektem wielu współczesnych badań? Można też zastanawiać się nad tym, cóż to za przewrotność, że człowiek stworzył urządzenie, do którego następnie sam zaczął się porównywać.

Wstępując w wirtualny świat jak w realny, dokonujemy konkretnego doświadczenia, że wirtualność także bywa realna, a stąd może zrodzić się przypuszczenie, że wszystko, co realne, z innego punktu widzenia jest wirtualne [8, s. 182].

Zacznijmy jednak od początku. Powszechnie przyjmuje się, że rok 1942 to czas rozpoczęcia prac nad systemem ENIAC, ale w gruncie rzeczy cała ta historia rozpoczęła się trzy lata wcześniej - w 1939 roku - kiedy stworzono maszynę ABC. Relacjonując dalej interesującą nas sprawę (w dużym skrócie oczywiście) można hasłowo przypomnieć: William Fetter, z wykształcenia artysta, to twórca terminu *computer graphics*, czyli *grafika komputerowa*; a w roku 1961 stworzona została gra *Spacewar!* przez Steve’a Russella z MIT. Z kolei, w 1962 roku Ivan Sutherland (będący doktorantem w MIT) zapisał się na kartach historii jako twórca rewolucyjnego programu o nazwie *Sketchpad*. Kenneth Knowlton natomiast (pracujący w Bell Labs) eksperymentował z tworzeniem obrazów wyłącznie przy pomocy znaków ASCII, zapoczątkowując tym samym około 1966 roku nurt sztuki komputerowej, zwany *ASCII Art*. I tak dochodzimy do roku 1968, w którym Arthur Appel zaprezentował algorytm pozwalający na śledzenie promieni, co umożliwiała renderowanie obiektów trójwymiarowych. Tymczasem, Frederick Parke stworzył w 1970 roku pierwszy animowany trójwymiarowy model ludzkiej twarzy, na którym możliwe było ukazywanie różnych rodzajów ekspresji. Lata dziewięćdziesiąte ubiegłego wieku to dekada rozkwitu grafiki 3D, która podbiła świat nieograniczonymi możliwościami swego zastosowania: od tworzenia modeli technicznych poprzez rozrywkę w postaci gier komputerowych i filmów animowanych. W 1995 roku powstał, z kolei, pierwszy pełnometrażowy film, wykorzystujący wyłącznie animację 3D - *Toy Story*, a w 1996 roku - pierwsza gra 3D - *Quake*. Natomiast w grafice trójwymiarowej ton nadawał, z całą pewnością, program 3D Studio, wyprodukowany w 1990 roku przez firmę Yost Group. Późniejsze jego wersje były wydawane przez Autodesk pod nazwą 3D Studio MAX (obecnie 3ds max). Współcześnie na rynku jest zdecydowanie więcej programów do grafiki 3D.

Wydaje się, że przestrzeń cyfrowa, wirtualna, AR, VR, świat kodu binarnego stworzony przez człowieka - jest niczym nowa planeta, odkryta gdzieś w dalekiej kosmicznej galaktyce, czekającej od zawsze na tego rodzaju eksplorację. To świat totalnie wyabstrahowany, oparty na algorytmach, elektronice i technologii - świat, który kusi swoją atrakcyjnością, umożliwia spełnienie marzeń oraz (w pewnym sensie) czyni z nas „nadludzi”.

Samo nadejście wirtualności jest naszą apokalipsą i odbiera nam apokalipsę jako rzeczywiste wydarzenie. Taka jest nasza paradoksalna sytuacja, ale trzeba pójść do kresu [wspomnianego] paradoksu [1, s. 34].

Świat, który wchłania współczesną kulturę, całe społeczeństwa, w którym zachodzi zjawisko immersji, tak bliskie sztuce. Myślę, że w tym miejscu sztuka i świat wirtualny mają cechę wspólną. Od początku oba wspomniane zjawiska tworzyły i tworzą nadal alternatywne światy dla człowieczeństwa. Sztuka (która pozwalała oderwać się od rzeczywistości, kreować nową, wielowymiarową rzeczywistość dla naszej duchowej sfery) i świat wirtualny. Sztuka jest dowodem na to, że nigdy nie wystarczała nam tylko rzeczywistość. Sztuka w wielu przypadkach pozwalała nam bowiem odrywać się od świata realnego oraz wychodzić poza świat zmysłowy. Rzeczywistość wirtualna także tworzy nowe światy, a współczesne połączenie obu wspomnianych powyżej zjawisk - potęguje silnie ich atrakcyjność.

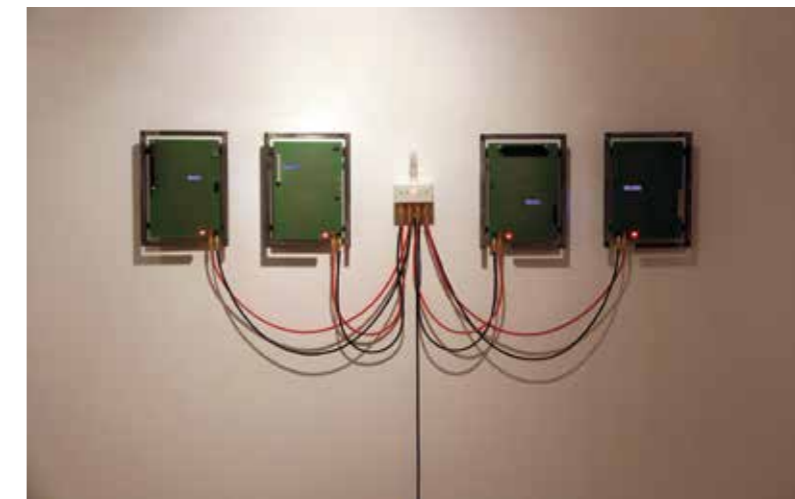
Czy nowe perspektywy i podłoże technologiczno-kulturowe nie okażą się jeszcze ciekawsze i bogatsze dla samej sztuki i filozofii? Bo czyż, jak zdaje się to prorokować w *Inteligencji otwartej* Derrick de Kerckhove:

pewnego dnia może się okazać, że jeden z najbardziej nurtujących filozofów problemów, czyli - jak umysł ma się do mózgu, a duch do ciała - będzie problemem stosunkowo prostym: sztuczka, którą już wykonują dla nas komputery? [2, s. 59].

Wielu badaczy uważa, że postęp paradoksalnie może nas zgubić, a część upatruje w nim następnego etapu rozwoju rodzaju ludzkiego. Wiele z tych rozważań - dotyczących nowoczesnych technologii, sztucznej inteligencji i świata wirtualnego - jest współcześnie stanowczo redefiniowana i budzi wiele obaw.

Chip Walter - autor książki *Thumbs, Toes, and Tears: And Other Traits That Make Us Human* (*Kciuki, palce u nóg i łzy: i inne cechy, które czynią nas ludźmi*) - przewiduje, że owocem kolejnego stadium ewolucji może być gatunek, który roboczo można by nazwać *Cyber sapiens*. Czego osobiście nie mogę się doczekać, choć mam świadomość, że żyją już wśród nas cyborgi... Chociażby ludzie z zastawkami serca, zasilanymi w odpowiedni sposób specjalnymi bateriami... Co się stanie, kiedy baterie te się wyczerpią? Każdy z nas ma w domu jakieś urządzenie elektroniczne i wie, co się dzieje wtedy, kiedy w bateriach zabraknie energii...

Dla mnie jako rzeźbiarza, konkretne zagadnienia - związane chociażby z immersją sztuki i światem elektronicznym - znajdują swoje odbicie w kontekście realizowanego przeze mnie cyklu *Made by Kotwis*. Jednak nie w kontekście grafiki i druku 3D, bowiem w przypadku wspomnianego powyżej cyklu intrygują mnie nieco inne pytania i zagadnienia.



Rafal Kotwis, *Made by Kotwis 006/16* (immersja dermatoglify) technika własna, elektronika, 190×200×20 cm, 2016

Rafal Kotwis, *Made by Kotwis 006/16* (immersion of a dermatoglyph) individual technique, electronic circuitry, 190×200×20 cm, 2016

W cyklu tym – w sposób dosłowny, jak i przy pomocy kodów – chcę wskazać, na nasz „ślad”, czy też swoiste nasze „numery identyfikacyjne”. Analizowana praca aluzyjnie wskazuje na to, jak świat elektroniki, a co za tym idzie – ogólnoswiatowy system kontroli „identyfikuje” nas w swoich systemach i bazach danych. Jak często pozostawiamy nasze „odciski”, nie dotykając niczego palcami. Oczywiście, pojawia się w tym przypadku skojarzenie z procesami immersji sztuki i elektroniki, które zawłaszczają nasze terytoria bądź, w które zostajemy po prostu „wchłonięci”. Jak słusznie zauważa Michał Ostrowski: *zanurzenie w elektroniczne REALIS dzieła interaktywnego lub matrycy technologicznej, czyli immersja w środowisko elektroniczne, jest procesem oddalania się podmiotu od jednej sfery, w stosunku do innej, np. zanurzenia się w elektroniczne środowisko REALIS i oddalenia w stosunku do rzeczywistości* [5, s. 204].

Powracając do zasadniczego tematu moich rozważań, związanych z tytułem *Drogi po druku*, pragnę podkreślić, że moje myślenie jest w pewnym stopniu zdeterminowane dyscypliną nauk ścisłych, w związku z czym postrzegam świat raczej przez pryzmat założeń logiki przyczynowo-skutkowej, jak również bliskie mi są wybrane przekonania wielu transhumanistów i futurologów. Postrzegam siebie jako producenta, a nie jako artystę.

Jako osoba zafascynowana grafiką 3D, swoją przygodę z nią rozpocząłem po roku 2000 od programu 3ds max 5. Nauka modelowania na siatce, splajnach, nurbsach była dość mozolna i nie miała wiele wspólnego ze swobodnym procesem tradycyjnego rzeźbienia. Z perspektywy czasu, wspomniane doświadczenia odbieram jednak jako wielką lekcję dyscypliny, jak również rozwijania świadomości konstruowania określonych obiektów oraz poprawności ich budowania „na loopach”, co niezwykle ważne jest dla osób zajmujących się animacją digitalną. We wspomnianym kontekście istotne znaczenie mają „lowpoly i highpoly” – dwie bardzo ważne w tym przypadku zmienne. Muszę jednak przyznać, że moje inicjatywy cyfrowego modelowania dotyczyły zawsze prób odzwierciedlenia rzeczywistości i miały dla mnie charakter zazwyczaj ewidentnie techniczny. Choć modelowanie organicznych form po pewnym czasie nie sprawiało mi już problemu, to z całą pewnością wszystko to było bardzo odmienne i dalekie zarazem od rzeźbienia w tradycyjnych tworzywach. Dlatego też w moim warsztacie rzeźbiarskim 3dmax stał się przede wszystkim narzędziem do wykonywania elementów technicznych.

Co ważne jednak, moja przygoda z grafiką 3D prowadziła mnie od przejawów ŚWIATA REALNEGO do przestrzeni ŚWIATA WIRTUALNEGO.

Dzisiejsze pojmowanie rzeczywistości wirtualnej jako zawierającej się w cyberprzestrzeni jest ostatecznym przykładem zastępowania materialnego świata immaterialnym i symbolicznym [4, s. 17-18].

Z biegiem czasu, możliwości komputerów się zwiększały i co za tym idzie rósł również realizm budowanych obiektów, a raczej możliwości silników renderujących, które coraz lepiej radziły sobie z odwzorowaniem światła, cieniowaniem, kaustyką, różnymi refleksami czy odbiciami. Pojawił się KeyShot, z którego korzystam do dziś do renderowania obiektów. Musimy sobie uświadomić to, że komputery i programy miały duży wpływ na projektowaną rzeczywistość – zarówno tę, w której żyjemy; jak i tę, w której pragniemy żyć. Warto pamiętać, że ich dynamiczny rozwój dawał o sobie silnie znać, na przykład w przypadku kinematografii, jak również w branży gier komputerowych, o czym świadczą takie produkcje, jak: *Terminator II*, *Matrix* czy *Avatar*.



Rafał Kotwis, *Zegarek 2*, 3dsmax, KeyShot, material basic grey, 2016. Źródło: R. Kotwis
Rafał Kotwis, *Watch 2*, 3dsmax, KeyShot, material basic grey, 2016. Source: R. Kotwis



Rafał Kotwis, *Zegarek 2*, 3dsmax, KeyShot, full material, 2016. Źródło: R. Kotwis
Rafał Kotwis, *Watch 2*, 3dsmax, KeyShot, full material, 2016. Source: R. Kotwis



Rafal Kotwis, *Mech erka*, concept art., 3dsmax, KeyShot, full material, 2016. Źródło: R. Kotwis
 Rafal Kotwis, *Mech erka*, 3dsmax, KeyShot, full material, 2016. Source: R. Kotwis

Trzeba zaznaczyć w tym kontekście, że pojawia się u pewnego grona współcześnie żyjących ludzi pewnego rodzaju brak zaufania do realnej rzeczywistości. Wiele firm, szczególnie reklamowych, nie korzysta obecnie z realnych obiektów, ponieważ wydają się one za mało „autentyczne”. Dopiero te przetworzone przez świat cyfrowy są „bardziej” prawdziwe, realniejsze i piękniejsze zarazem. Wiele firm korzysta z grafiki 3D, ponieważ świat wirtualny podlega regułom, które można łatwo zmieniać, w związku z czym obiekty 3D nie są obciążone ograniczeniami świata realnego. Poza tym technologie cyfrowe dają możliwości kreowania obrazu HD, 4k, jak również najnowszych projekcji obrazu rzeczywistości, czym wielu z nas się dziś silnie fascynuje. Współcześnie z całą pewnością hiperrealność świata cyfrowego „urealnia” świat prawdziwy. Dzięki temu wierzymy w świat reklamy, która obiecuje nam doczesne dobra w jak najlepszej jakości, wykorzystując w tym celu świat wirtualny, który nie jest przecież realny i prawdziwy. Tak też, chcąc nie chcąc, jesteśmy jako odbiorcy manipulowani. A światy realny i wirtualny przenikają się wzajemnie, tworząc nowe uniwersum.

Tu można zauważyć przejście pomiędzy techną rzeźby starożytnej do techny rzeźby immaterialnej elektronicznej [5, s. 88].

W tym miejscu warto się zastanowić nad tym, czy nie wkraczamy właśnie do kolejnego etapu rozwoju sztuki, która bezpardonowo odrzuca swe związki z materią, stając się „czystym tworem” przynależnym niemalże tylko do „świata idei”. Być może to nowy początek? Być może dopiero teraz sztuka stanie się naprawdę wolna? Być może rozpoczynamy obecnie podróż ku sferze immaterialnej, niewidocznej, nienamacalnej i silnie medialnej zarazem?

Jeśli chodzi o moje doświadczenia z grafiką 3D, kolejnym – ważnym dla mnie etapem – była praca w programie ZBrush, co związane było z pojawieniem się nowych, interesujących możliwości – przede wszystkim funkcji *dynamicznej siatki (DynaMesh)*. Była to praca na wielu poligonach niedostępna wcześniej w programach graficznych związanych z 3D. Praca z tabletem – umożliwiającą swobodę ruchu i zapisu gestu. Zbrush dał mi poczucie rzeźbienia i silnie mnie wciągnął w swoje praktycznie

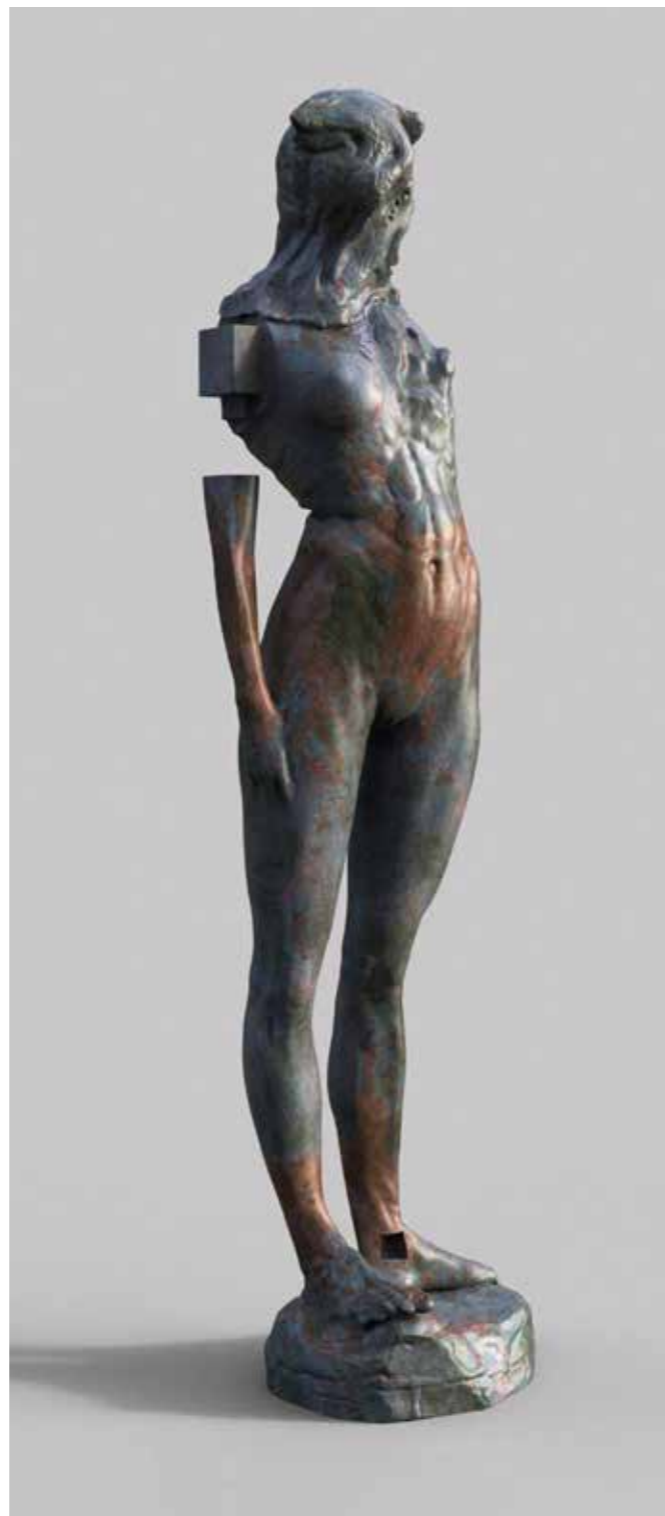


Rafal Kotwis, *Forms 5*, ZBrush, KeyShot, 2019
 Rafal Kotwis, *Forms 5*, ZBrush, KeyShot, 2019



Rafal Kotwis, *Head 4*, ZBrush, KeyShot, 2017

Rafal Kotwis, *Head 4*, ZBrush, KeyShot, 2017



Rafal Kotwis, *Women 3*, ZBrush, KeyShot, 2017

Rafal Kotwis, *Women 3*, ZBrush, KeyShot, 2017

nieograniczone możliwości. Od dłuższego już czasu wspomnianego programu używam z satysfakcjonującymi efektami, przede wszystkim do „rzeźbienia organicznego”.

Długo zastanawiałem się nad fenomenem ZBrush'a i moją pracą w tym programie. Doszedłem do wniosku, że program ten kusi mnie swoimi możliwościami. Dlatego też cykl prac związanych z grafiką i drukiem 3D nazwałem *Kuszenie Zbrush'a*, a poszczególne przynależne do niego prace odpowiednio numerowałem, np. KZ 001/2018.

Muszę przyznać, że staram się zawsze maksymalnie i efektywnie wykorzystać możliwości używanych przez siebie digitalnych programów, dlatego też tworzę obiekty, których raczej bym nie stworzył w środowisku naturalnym. Myślę, że gdybym miał je rzeźbić w glinie czy plastelinie - to raczej nie doszłoby to do skutku. Istotą staje się w tym przypadku świadome wykorzystanie medium jako narzędzia do tworzenia, a nie całkowite „poddanie” się programowi, który może zgubnie wciągnąć nas w pułapkę rozmaitych efekciarskich „estetyzmów”. Programy do tworzenia grafiki 3D dają współczesnemu twórcy nieograniczone możliwości. Znika problem magazynowania obiektów, konserwacji, czy też nużących czynności, związanych np. tradycyjnymi technikami rzeźbiarskimi. Pracownią może stać się sprzęt komputerowy i jego najbliższe otoczenie. Daje to możliwość dokonywania zmian bez większych konsekwencji oraz testowania skali i materiału, bez wysiłku fizycznego. Takie możliwości w rękach świadomego twórcy stają się ogromnym potencjałem. Przykładowo, w czasie rzeczywistym jesteśmy w stanie poglądowo dokonać wyboru techniki, w której docelowo wykonamy nasz obiekt. Problem pojawia się przy druku 3D - ale o tym wspomnę później.

Drukowanie przestrzenne (ang. 3D printing) - to proces wytwarzania trójwymiarowych, fizycznych obiektów na podstawie komputerowego modelu. Pierwsza technika drukowania przestrzennego została opracowana w 1984 roku przez Charlesa Hulla i opatentowana w 1986 roku jako Stereolitografia (SLA). W ramach 3D Systems opracowano stosowany do dziś format pliku STL.

Pracuję w dwóch systemach druku: *FDM* (ang. Fused Deposition Modelling), w którym termoplastyczny materiał wyciskany przez dysze oraz *UV LCD*, gdzie warstwa płynnej żywicy utwardzana jest przy pomocy światła emitowanego przez ekran ciekłokrystaliczny (LCD), dodatkowo będąc wystawioną na ekspozycję promieniowania nadfioletowego (UV). Każda z wymienionych powyżej technik ma swoje ewidentne wady i zalety. Klasyczny FDM (potocznie nazywany filamentówką) jest tanią techniką i daje większe możliwości pod względem gabarytowym. Do celów doświadczalnych jest chyba najlepszą technologią. Istnieje również w jej obrębie do wyboru wiele ciekawych materiałów. Szczególnie preferowanym przeze mnie jest klasyczny ABS. W przypadku druku żywicznego koszty są natomiast zdecydowanie większe. Bardziej skomplikowany jest też proces samego druku i następującej po nim post produkcji. Łączy się to często ze zdecydowaniem mniejszą skalą (w przypadku drukarek budżetowych), co jest jednak zrekompensowane bardzo dobrą jakością druku, dochodzącą do 20-25 mikronów. Daje to bardzo dobre wyniki, szczególnie przy druku modeli filigranowych, takich jak np. biżuteria. Taki model drukujemy w żywicy woskopodobnej i od razu możemy użyć go w procesie odlewniczym.

Należy podkreślić, że druk 3D umożliwił urealnienie elementów ze świata wirtualnego, dzięki czemu świat wirtualny materializuje się „na naszych oczach”. To bardzo ważny aspekt, ponieważ rzeczywistość immaterialna staje się znowu materialna, jednak nie bezpośrednio dzięki manualnemu działaniu człowieka, lecz dzięki możliwościom maszyny. Dzięki temu możemy materializować najśmielsze nawet marzenia w świecie rzeczywistym. A może również dzięki temu procesowi świat wirtualny zaczyna integrować się i przenikać ze światem rzeczywistym poprzez przenoszenie danych do otaczającej nas rzeczywistości. Nie ukrywam, że granice sfer wirtualności i rzeczywistości zaczynają się obecnie zauważalnie zacierać, co rodzi pytania o nowe uniwersum, które zawierałoby w sobie oba te światy. Być może, mogłyby to



Rafał Kotwis, *KZ 001/18*, druk 3D, ABS patynowany, 20×12×12 cm, 2018
 Rafał Kotwis, *KZ 001/18*, 3D printing, patinated ABS, 20×12×12 cm, 2018



Rafał Kotwis, *KZ 004/18*, druk 3D, ABS patynowany, 25×12×12 cm, 2018
 Rafał Kotwis, *KZ 004/18*, 3D printing, patinated ABS, 25×12×12 cm, 2018

opisywać takie pojęcia, jak: metarzeczywistość, post real czy double unity reality. Ciekawa i fascynująca zarazem wydaje się w tym przypadku podróż ze świata WIRTUALNEGO do REALNEGO - swoista odwrotność wspomnianego przeze mnie nieco wcześniej przechodzenia od przejawów ŚWIATA REALNEGO do przestrzeni ŚWIATA WIRTUALNEGO. Omówione powyżej doświadczenia, procesy i cyfrowe możliwości technologiczne chciałbym skonfrontować z problemem ciężaru, grawitacji i skali. Dla artystów rzeźbiarzy, pracujących w materiałach rzeczywistych, są to ważne jakości, które w świecie wirtualnym po prostu nie istnieją. Dlatego też potrzeba doświadczenia, żeby poprawnie przenosić formy wirtualne do świata realnego. Bez zrozumienia zasad rządzących jednym i drugim środowiskiem, łatwo się pogubić (oczywiście nie dotyczy to form totalnie wyabstrahowanych). Problem pojawia się przy próbie pracy z rzeźbą figuratywną, odnoszącą się do człowieka. Dla osób studiujących dogłębnie zagadnienia rzeźby figuratywnej zauważalne stają się pewne dylematy, które należy rozstrzygnąć właśnie poprzez odpowiednie próby przeniesienia tego rodzaju motywów, co ma ewidentny związek ze świadomością i wyczuwaniem zachodzących przy tym zmian, powiązanych właśnie z grawitacją, ciężarem czy skalą (co widać przy opisie prac i reprodukcji).

W tym momencie chciałbym zaznaczyć również, że w sposób świadomy likwiduję wszelkie „ślady” po procesie mechanicznego, przestrzennego druku. Ważna jest dla mnie forma obiektu, a nie technologia czy też zauważalne „piętno” użytej techniki. Uważam, że „ślad” czy też „pozostałość” po wybranej technologii może zakłócać czystość oddziaływania kreowanej formy. Dlatego też w tradycyjnej rzeźbie zawsze starałem się tego rodzaju „ślady” zacierać, pozostawiając powierzchnię dzieła wolną od rozmaitych „skaz” czy „wizualnych nieczystości”, które często mogły być przez niektórych traktowane jako autorskie „dotknięcia” rzeźbiarskiego narzędzia. Podobnie postępuję w przypadku form



Rafał Kotwis, *Polemon's 21*, druk 3D, ABS lakierowany, 20×70×30 cm, 2021, wystawa Start w PKOL, Warszawa
 Rafał Kotwis, *Polemon's 21*, 3D printing, ABS lacquered, 20×70×30 cm, 2021, Start exhibition at PKOL, Warsaw

edytowanych przy użyciu maszynowego druku. Jestem silnie przekonany o tym, że dzieło rzeźbiarskie jest „osobnym bytem” i nie powinno być nierozwalnie związane ze swoim twórcą, być może dlatego właśnie zawsze miałem problem z podpisywaniem własnych prac, bo czułem, że nie są one „moje” i przynależą do innej nanosfery. W najnowszych pracach natomiast wykorzystuję możliwości programu do dekonstrukcji obiektów, tworząc częściowo wyabstrahowane formy.

Prace te odnoszą się do rozwiązań związanych z deformacją i zniekształceniem obiektu przestrzennego, który wcześniej identyfikowany był z innym kształtem. Technologia druku 3D i specyfika środowiska digitalnego dają większe możliwości kontrolowania takiego procesu i przewidywania jego finalnego efektu. Prace te są również rozwinięciem myślenia o ludzkim ciele w kontekście grafiki i druku 3D. Zawsze nawiązują one do wcześniej wykonanego modelu i następnie przy pomocy odpowiednich narzędzi są deformowane do pożądanego przeze mnie stanu formy i bryły.

Bardzo ważny i istotny jest w tym przypadku efekt relacji widza wobec wykreowanego obiektu. Odbiorca jest wciągnięty w interakcję z przestrzennym wydrukiem, dzięki czemu poszukuje i może odnaleźć ukryty w nim kod. Co ważne jednak, wspomniana interakcja zachodzi z samym trójwymiarowym obiektem, finalnie bowiem nie wykorzystuję żadnych dodatkowych mediów i bodźców w celu aktywizacji odbiorcy, takich jak na przykład film czy wideo. Jest to ważny aspekt w mojej twórczości, bowiem nawet w przypadku obiektu nieprzeładowanego intelektualnymi treściami i odniesieniami, odbiorca może odnaleźć „drugie dno”, czy też po prostu nawiązać pewien kontakt i dialog z proponowanym przeze mnie dziełem.

Podsumowując, warto stwierdzić, że na pewno mamy do czynienia we współczesnej kulturze, sztuce i życiu z nową przestrzenią – technologiczną, zawierającą w sobie ogrom możliwości – przestrzenią, zupełnie inną od przestrzeni fizycznej ze swoimi prawami, zjawiskami i procesami, czy też przestrzeni teoretycznej, zbudowanej przede wszystkim na potencjale filozofii i intelektualnych dociekań racjonalnych. Współczesne technologie mają ogromny potencjał. Przykładowo, możliwości nowoczesnych obrabiarek CNC czy skanerów, służących do przenoszenia obiektów przy ich pomocy do kodu binarnego – jest wprost imponująca. Technologia druku 3D wykorzystywana jest również w medycynie, a nawet współczesnej gastronomii. A cóż czeka nas w niedalekiej przyszłości? Być może, pełen skan i druk ludzkiego mózgu, nie mówiąc już o przedruku całego ciała człowieka. Czy przestrzeń technologiczna wraz ze sztuką elektroniczną i światem wirtualnym – nie okażą się w dalszej lub bliższej przyszłości istotą sztuki w ogóle, drogą do immaterialnego pojmowania zjawisk związanych z ludzką egzystencją i twórczością artystyczną człowieka nowych czasów i nowych kulturowych wyzwań? Czy nie okaże się w pewnym momencie, że „duchowość” – to tylko szybsze przetwarzanie danych? Jestem przekonany o tym, że postawione powyżej pytania nie nurtują tylko mnie, lecz także całkiem spore grono innych osób oraz, co jeszcze ważniejsze, że udzielenie na nie jednoznacznych odpowiedzi jest dziś z wielu powodów – po prostu niemożliwe do uzyskania.



Rafal Kotwis, *Polemon's 21*, druk 3D, ABS lakierowany, 20×70×30 cm, 2021, wystawa Start w PKOL, Warszawa
Rafal Kotwis, *Polemon's 21*, 3D printing, ABS lacquered, 20×70×30 cm, 2021, Start exhibition at PKOL, Warsaw



Rafał Kotwis, SP005/22, druk 3D, ABS lakierowany, 2022, wystawa: *Implikacje. Cyfra i bryła*, Wrocław
Rafał Kotwis, SP005/22, 3D printing, lacquered ABS, 2022, exhibition: *Implications. Number and solid*, Wrocław

Nowadays, technology accompanies people at every step. Frequently, we experience the world through electronic devices, or we are just directly immersed in them. The world of high-tech has opened up new horizons for mankind and expanded our reality virtual space being added to it. New tools have been developed that make it possible to model new worlds and dimensions, as well as technologies that allow us to convert binary codes into physical objects. Artists are highly attentive to these facts and try to use the new media to attain their own goals. In my presentation, I will focus on the aspects of 3D graphic art and 3D printing that are important to me, and, on the basis of my own experience, I will show the problems encountered in and possibilities offered by this technology, analysing them from the point of view of a sculptor. I will touch upon important notions such as: a site, a scale, weight, gravity, production, post-production, as well as upon the tempting nature of certain magic hidden in the virtual world. Undoubtedly, nowadays there are plenty of questions concerning the evolution of artworks and the material need for this kind of artistic expression to exist. We might be experiencing the next stage that knows no limits of creativity, or perhaps even the final trajectory of development of the latest human artistic search. Indubitably, it is an extremely interesting space which is really worth learning and exploring.


Keywords: Sculpture, 3D printing, virtual space, graphic art

*PrintSettPath Between virtual and physical reality.
Analysis of the problem based on an artist's own experience.*

— Rafał Kotwis

Faculty of Sculpture, Magdalena Abakanowicz University of Arts in Poznań, Poland

rafal.kotwis@uap.edu.pl

 <https://orcid.org/0000-0002-0609-9967>

Path to print, setted path, PrintSettPath (Droga do druku, droga po bruku, droga po druku). This title refers to my research involving work in the fields of 3D printing and graphic art. It refers to the many years of experience I have had with both selected digital programmes and the lectures and talks I have had the opportunity to give at several events, bearing this very title: *Path to Print*. With such a broadly defined range of issues of interest to me, I decided to include a certain perverse provocative perversity in the very title of the reflections related to this issue. This thought has repeatedly accompanied me as I have experienced the processes and peculiarities of printing and the numerous adversities, difficulties and obstacles that can accompany these processes. Although in my opinion graphic art and 3D printing belong also in areas of artistic work, I am also aware of the potential this technology has, which can certainly contribute very strongly to our contemporary world.

3D graphics has been my companion for almost twenty years, and its possibilities, specificity and availability have opened up new possibilities of artistic and editing work, both for artists and for people of decidedly different trades. At some point 3D printing became a kind of 'magic wand' that can make various dreams come true. It can transfer virtual objects into the real world, which may seem almost like

a 'miracle' more available in the worlds of science fiction than in those that are obviously familiar to us and real. However, I get the impression that many people involved in graphics and 3D printing must, in some sense, also be immersed in sci-fi in a broad meaning of the term. The names of authors such as S. Lem, J. Dukaj, I. Asimov, F. Herbert and P.K. Dick should therefore not be unfamiliar to them, and sci-fi cinematography may be as close to them as the real world. As an aside, it is worth recalling that the first mentions of '3D printing' in sci-fi novels were probably those that appeared in Murray Leinster's short story titled *Things Pass By*, published in 1945 in *Fantastic Story Magazine* (remember that at that time the first computers were only being developed). In this context one certainly should mention the history, the origins and the phenomenon of the computer, which is now no longer so much a tool in itself as an environment where further tools can be made, and thus also possibilities shaping our real world. Didn't the computer and the virtual world also at some point become the starting point for analysing the human brain and the vast object of much contemporary research? One may also wonder what a perversity it is that man created a device that he then began to compare himself to. "By entering the virtual world as if it were the real one, we have the concrete experience that virtuality is also sometimes real, and hence it can give rise to the supposition that everything real, from another point of view, is virtual." [8, p. 182].

But let's start from the very beginning. It is commonly assumed that it was in 1942 that work on the ENIAC system began, but in fact the whole story began three years earlier, in 1939, when the ABC machine was made. Relating the matter concerning us here further (in a nutshell, of course), it is to be recalled that William Fetter, an artist by profession, coined the term *computer graphics*, and in 1961 the game *Spacewar!* was developed by Steve Russell at MIT. And in 1962, Ivan Sutherland (being then a PhD student at MIT) made history as the creator of a revolutionary program called *Sketchpad*. Kenneth Knowlton (working for Bell Labs) experimented with creating images solely by means of ASCII characters, thus initiating the computer art movement known as *ASCII Art*, which took place around 1966. Which brings us to 1968, when Arthur Appel presented an algorithm that allowed ray tracing, making it possible to render three-dimensional objects. Meanwhile, Frederick Parke made the first animated three-dimensional model of the human face in 1970, on which different types of expression could be shown. The 1990s was the heyday of 3D graphics, which conquered the world with the limitless possibilities of its application: from making technical models to entertainment in the form of computer games and cartoons. 1995 saw the release of *Toy Story*, the first full-length film using solely 3D animation, followed by *Quake*, the first 3D game, released in 1996. 3D Studio, made in 1990 by the Yost Group, certainly set the tone in 3D graphics. Later versions were released by Autodesk under the name 3D Studio MAX (now 3ds max). Today, there are definitely more 3D graphics programmes on the market.

It seems that digital space, virtual space, AR, VR, the man-made world of binary code is like a new planet, discovered somewhere in a distant cosmic galaxy, waiting for this kind of exploration from time immemorial. It is a totally abstracted world, based on algorithms, electronics and technology, a world alluring with its attractiveness, enabling us to fulfil our dreams and (in a sense) making us "superhuman". "The very advent of virtuality is our apocalypse and deprives us of the apocalypse as an actual event. This is our paradoxical situation, but it is necessary to go to the end of the [aforementioned] paradox" [1, p. 34]. A world that absorbs contemporary culture, whole societies, a world where the phenomenon of immersion takes place, so close to art. This is where I think art and the virtual world have something in common. Since their beginnings the two aforementioned phenomena have been making alternative worlds for humanity, namely art (which has allowed us to break away from reality, to

create a new, multidimensional reality for our spiritual realm) and the virtual world. Art is a proof that we have never been satisfied solely with reality. Indeed, in many cases art allowed us to detach ourselves from the real world and to go beyond the sensory world. Virtual reality also creates new worlds, and the contemporary combination of the two phenomena mentioned above strongly enhances their appeal.

Will new prospects and the technological and cultural background not prove even more interesting and richer for art itself, and philosophy? For, as Derrick de Kerckhove seems to prophesy in *Open Intelligence*, "One day it may turn out that one of the most vexing problems for philosophers, that is, how the mind relates to the brain and the spirit to the body, will be a relatively simple problem, a trick that computers are already performing for us." [2, p.59].

Many scholars believe that because of progress, paradoxically, we may perish, while some see it as the next stage in the development of the human race. Many of these considerations – relating to modern technologies, artificial intelligence and the virtual world – are nowadays radically redefined and raise many concerns. According to Chip Walter, the author of *Thumbs, Toes, and Tears: And Other Traits That Make Us Human*, the fruit of the next stage of evolution might be a species that could be tentatively called *Cyber sapiens*. As for me, I cannot wait to see it, although I am aware that even now cyborgs live among us... For example, people with heart valves, powered in an appropriate way by special batteries... What happens when these batteries run out? Each of us has an electronic device at home and knows what happens when the batteries are flat... For me, as a sculptor, specific issues – related, for example, to the immersion of art and the electronic world – are reflected in the context of the series I am working on, *Made by Kotwis*. However, not in the context of printmaking and 3D printing, because in the case of the above-mentioned series I am intrigued by slightly different questions and issues.

In this series – both literally and by means of codes – I want to point out our 'print' or our individual 'identification numbers'. The analysed work allusively points to how the world of electronic, and thus the global control system, 'identifies' us in its systems and databases. How often we leave our 'prints' without touching anything with our fingers. Of course, this brings to mind the immersions of art and electronics, which take over our territories or make us simply 'absorbed' into them. For, as Michał Ostrowski rightly observes, "Immersion into the electronic REALIS of an interactive work or a technological matrix, i.e. immersion into the electronic environment, is a process of the subject's distancing from one sphere towards another, e.g. immersion in the electronic environment of REALIS and distancing from the real".

Going back to the main subject of my reflections related to the title *PrintSettPath*, I would like to emphasise that my thinking is to some extent determined by the discipline of the exact sciences, due to which I perceive the world rather through the assumptions of cause-and-effect logic, and at least partially share some beliefs of many transhumanists and futurologists. I see myself as a producer rather than an artist. As someone fascinated by 3D graphics, I started my adventure with it after 2000, using 3ds max5. Learning how to use mesh, spline and nurbs modelling was quite arduous and had little in common with the freedom of the process of traditional sculpting. In retrospect, however, I perceive the experience mentioned above as a great lesson in discipline, as well as in developing an awareness of how to construct certain objects and how to use loops to build them correctly, which is extremely important for those focusing on digital animation. In the aforementioned context, 'low poly' and 'high poly' are important, being two very important variables in this case. I have to admit, however, that my digital

modelling initiatives have always been about trying to reflect reality and have usually been obviously technical for me. Although modelling organic forms was no longer a problem for me after a while, all of it was certainly very different and far from sculpting in traditional materials. Therefore, in my sculpture workshop, 3dmax became primarily a tool for making technical elements.

Importantly, however, my adventure with 3D graphics led me from the manifestations of the REAL WORLD to the space of the VIRTUAL WORLD. "The present understanding of virtual reality as contained within cyberspace is the ultimate example of replacing the material world with an immaterial and symbolic one." [4, p. 17-18]. As time went by, the capabilities of computers increased, and so did the realism of constructed objects, or rather the capabilities of rendering engines, which became increasingly adept at reproducing light, shading, caustics, various reflections or reflections. KeyShot came along, which I still use today to render objects. We need to realise that computers and software have had a major impact on the designed reality, both the one we live in, and the one we want to live in. It is worth remembering that their dynamic development has made itself strongly felt, for instance in film art, as well as in the computer games industry, as evidenced by such productions as *Terminator II*, *Matrix*, or *Avatar*.

It is to be noted in this context that a certain lack of trust in the real world is emerging in a certain group of contemporary people. Many companies, particularly advertising agencies, do not use real objects nowadays because they do not seem "genuine" enough. Only those processed by the digital world are 'more' real, more realistic and more beautiful at the same time. Many companies use 3D graphics because the virtual world is governed by rules that can be easily changed, as a result of which 3D objects are not burdened with the constraints of the real world. Besides, digital technologies offer possibilities of making HD, 4k images, as well as the latest projections of the image of reality, which many of us today find extremely fascinating. Nowadays, the hyper-reality of the digital world certainly 'makes' the real world 'real'. As a result, we believe in the world of advertising, which promises us worldly goods of the best possible quality, using the virtual world, which is not, after all, real and true. Thus, willy-nilly, as the targeted group, we are manipulated. And the real and virtual worlds interpermeate, creating a new universe.

"Here one can see a transition between the *techne* of ancient sculpture and the *techne* of immaterial electronic sculpture." [5, p. 88]. At this point, it is worth considering whether we are just entering another stage in the development of art, which ruthlessly rejects its links with matter, becoming a 'pure creation' belonging almost exclusively to the 'world of ideas'. A new beginning, perhaps? Maybe only now will art become truly free? Perhaps we are now embarking on a journey towards the realm that will be immaterial, invisible, intangible and highly media-rich at the same time?

As far as my experiments with 3D graphics are concerned, working in ZBrush was the next important stage to me, which was related to the emergence of new and interesting possibilities, primarily the *dynamic mesh* function (*DynaMesh*). This was multi-base work, a kind not available previously, in 3D-related graphics programmes. Working with a tablet gave freedom of movement and gesture recording. Zbrush provided me with a sense of sculpting and strongly attracted me with its virtually unlimited possibilities. I have been using the programme for quite some time now, with satisfying results, primarily for "organic sculpting".

I have been pondering for a long time about the phenomenon of ZBrush and my work done with this piece of software. I have come to the conclusion that the programme tempts me with its possibilities. That is why I have named the series of works related

to graphics and 3D printing *The Temptation of Zbrush*, and numbered the individual works belonging to it accordingly, e.g. *KZ 001/2018*.

I have to admit that I always try to make maximum and efficient use of the possibilities of the digital programmes that I work with, so I make objects that I would rather not create in the natural environment. I think that if I were to sculpt them in clay or plasticine, it would be unlikely to happen. The essence in this case becomes the conscious use of the medium as a tool for creation, rather than a total 'surrender' to the software, which can lure us into the trap of various showy 'aesthetisms' with a fatal result. Software used to make 3D graphics offers unlimited possibilities to the modern artist. The problem of object storage, conservation or the tedious tasks related to, for example, traditional sculpting techniques, disappears. Computer equipment and its immediate surroundings can become the studio. This provides one with an opportunity to make changes without major consequences and to test various scales and materials without physical effort. Such possibilities, when used by a conscious artist, become a huge potential. For instance, using visualisations, we are able to select the technique which we will ultimately use to make our object, in real time. A problem arises when 3D printing is used, but I would like to mention it below.

We should go back to history again for a moment, however. 3D printing is the process of making three-dimensional, physical objects, using a computer model. The first 3D printing technique was developed in 1984 by Charles Hull and patented in 1986 as Stereolithography (SLA). In 3D Systems the STL file format was developed that is still used today.

I myself use two printing systems: FDM (Fused Deposition Modelling), in which a thermoplastic material is extruded through nozzles, and UV LCD, where a layer of liquid resin is cured with light emitted by a liquid crystal display (LCD), in addition to being exposed to UV radiation. Each of the above-mentioned techniques has its obvious advantages and disadvantages. The classic FDM method is a low-cost technique and offers greater possibilities in terms of size. It is probably the best method for experimental purposes. In this technique there are also many interesting materials to choose from. The classic ABS is my favourite one. With resin printing, on the other hand, the costs are definitely higher. The printing process itself and the subsequent post-production are also more complicated. This is often combined with a much smaller scale (when budget printers are used), but compensated for by the very good print quality, reaching 20-25 microns. This gives very good results, especially when printing tiny models such as jewellery. A model of this kind is printed in a wax-like resin and can immediately be used in the casting process.

It should be emphasised that 3D printing has made it possible to make elements from the virtual world real, so that the virtual world materialises 'before our eyes'. This is a very important aspect, because immaterial reality becomes material again, but not directly thanks to human manual actions, but thanks to the capabilities of the machine. This allows us to materialise even the wildest dreams in the real world. And perhaps also thanks to this process, the virtual world begins to integrate and interpermeate with the real world by transferring data to the reality around us. It can be seen that the boundaries between the spheres of virtuality and reality are now beginning to noticeably blur, which raises questions of a new universe that would contain both of these worlds. Perhaps terms such as 'meta-reality', 'post-real' or 'double unity' reality could be used to describe this. The journey from the VIRTUAL WORLD to the REAL WORLD – a peculiar reversal of the transition from the manifestations of the REAL WORLD to the space of the VIRTUAL WORLD, which I mentioned a little above – seems interesting and fascinating at the same time.

I would like to confront the experiments, processes and digital technical possibilities discussed above with the problem of weight, gravity and scale. For sculptors working in real materials, these are important qualities that simply do not exist in the virtual world. Therefore, experience is necessary to correctly transfer virtual forms into the real world. Without understanding of the principles governing both environments, it is easy to get lost (of course, this does not apply to totally abstracted forms). A problem arises when one tries to work with figurative sculpture that refers to a human being. Those who study issues concerning figurative sculpture in depth notice certain dilemmas which need to be resolved through appropriate attempts to transfer this kind of themes, which is clearly related to awareness and sensing the changes taking place, related to gravity, weight or scale (as can be seen in the description of works and copies).

I would also like to point out here that I consciously remove any 'traces' of the mechanical, spatial printing process. What is important to me is the form of the object, not the technique or the noticeable 'mark' of the method used. I believe that the 'trace' or 'residue' of the chosen technique can interfere with the purity of the impact of the created form. Therefore, in traditional sculpture, I have always tried to remove such 'traces', leaving the surface of the work free of various 'blemishes' or 'visual impurities', which could often be regarded by some as authorial 'touches' of the sculptural tool. I do the same with forms edited by means of machine printing. I am deeply convinced that a sculptural work is a 'separate entity' and should not be inextricably linked to its creator, which is perhaps why I have always had a problem signing my own art objects, because I felt that they were not 'mine' and belonged to another nanosphere.

In my most recent work, however, I have been using the functionalities of the software to deconstruct objects, creating partially abstracted forms.

These works refer to solutions related to a deformation and distortion of a spatial object that was previously identified with a different shape. The technique of 3D printing and the specificity of the digital environment provide greater opportunities to control such a process and predict its final outcome. The works are also a continuation of thinking about the human body in the context of graphics and 3D printing. They always refer to a previously made model and with appropriate tools are then deformed to the state of form and the solid that I intended.

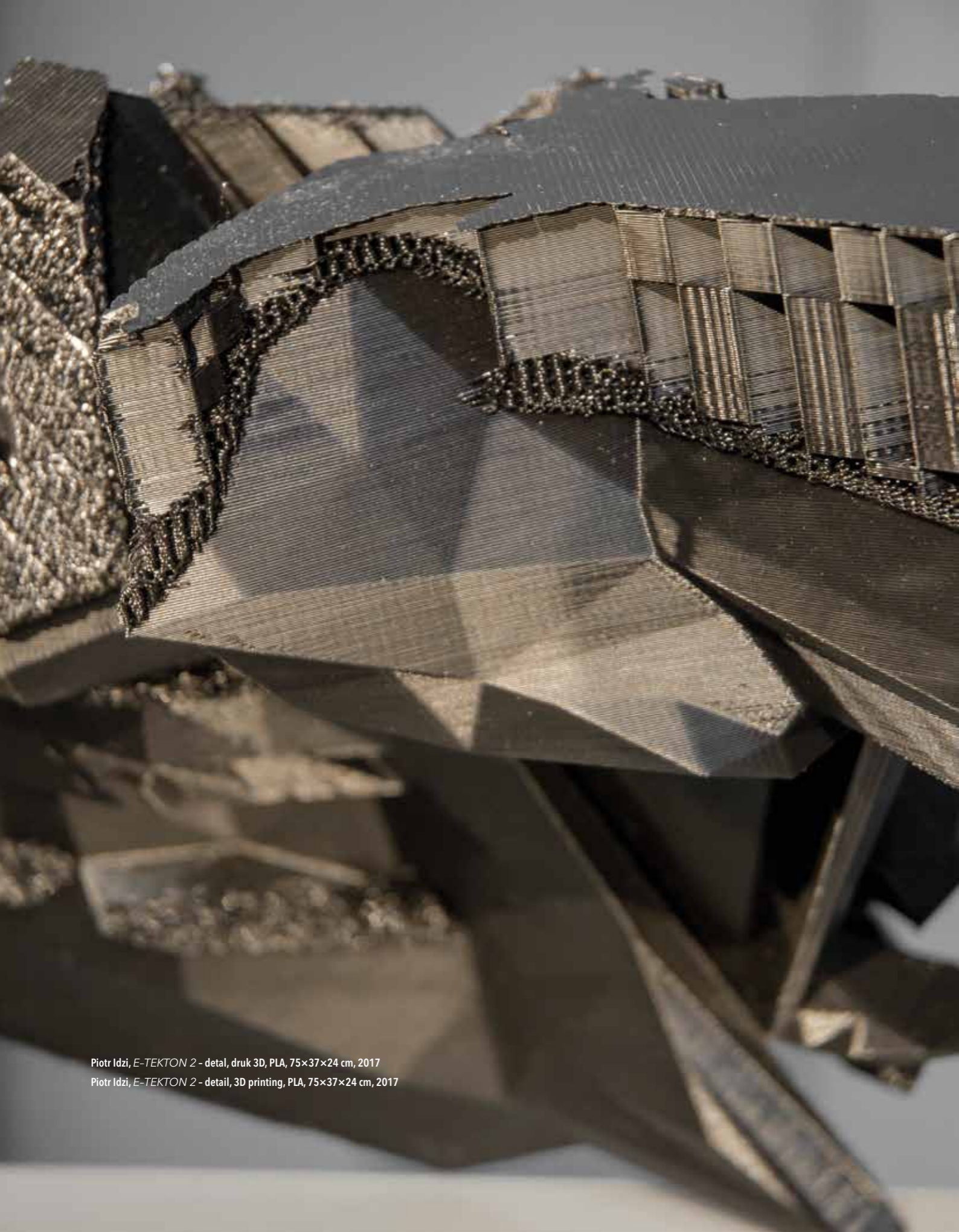
The effect of the viewer's relationship to the created object is very important and significant in this case. The viewer is drawn into an interaction with the 3D print, thanks to which they search for the code hidden in it and can find it. Importantly, however, the interaction in question takes place with the three-dimensional object itself, as finally I do not use any additional media or stimuli to activate the viewer, such as film or video recordings, for example. This is an important aspect of my artistic work, because even in the case of an object that is not overloaded with intellectual content and references, the viewer can find a hidden meaning or simply establish a certain contact and dialogue with the work offered by me.

In conclusion, it is worth stating that in contemporary culture, art and life we are certainly facing a new space – a technical one containing an enormous amount of potential – a space quite different from the physical one, with its laws, phenomena and processes, or a theoretical one, based primarily on the potential of philosophy and intellectual, rational inquiry. High tech has enormous potential. For example, the capabilities of modern CNC machine tools or scanners used to transfer objects to the binary code is immensely impressive. 3D printing techniques are also used in medicine, and even in modern kitchens. And what is to come along in the near

future? Perhaps a complete scan and print of the human brain, let alone reprinting the entire human body. In the near or distant future, will the tech space, together with electronic art and the virtual world, not turn out to be the essence of art in general, the path leading to an immaterial understanding of the phenomena related to human existence and artistic work of the humans of the new era, and new cultural challenges? Will it not turn out at some point that 'spirituality' is just faster data processing? I am convinced that the questions posed above do not bother only me, but also quite a number of people and, even more importantly, that it is simply impossible – for many reasons – to give unambiguous answers to them today.

Bibliografia Bibliography

- [1] Baudrillard J., *Przed końcem*, Warszawa 2001.
- [2] Kerckhove de D., *Inteligencja otwarta. Narodziny społeczeństwa sieciowego*, Warszawa 2001.
- [3] Kotwis R. *Droga do druku*, Poznań 2017.
- [4] Morse M., *Virtualites. Television, Media Art, and Cyberculture*, Bloomington 1998.
- [5] Ostrowski M., *Wirtualne REALIS. Estetyka w epoce elektroniki*, Kraków 2016.
- [6] Różanowski R., *Współczesna myśl estetyczna*, Wrocław 1993.
- [7] Walter C., *Thumbs, Toes, and Tears: And Other Traits That Make Us Human*, 2006.
- [8] Welsch W., *Sztuczne raje?, Rozważania o świecie mediów elektronicznych i o innych światach*, Poznań 1998.



Piotr Idzi, *E-TEKTON 2* - detal, druk 3D, PLA, 75×37×24 cm, 2017
Piotr Idzi, *E-TEKTON 2* - detail, 3D printing, PLA, 75×37×24 cm, 2017

Dzięki programom komputerowym, obsługującym narzędzia cyfrowe, dany projekt artystyczny może uzyskać pożądaną formę w sposób niezwykle precyzyjny, bez oporu materii czy grawitacji. Stopień dokładności wykonywanych przez te urządzenia działań zależy od ich parametrów i ustawień technicznych. Nabierając wiedzy i doświadczenia w tym zakresie, artyst(k)a może rozwijać nie tylko swój warsztat, ale i świadomość artystyczną. Wchodzi w dialog zarówno z materiałem, jak i z maszyną, która niekiedy sama pokazuje zaskakujące rozwiązania.

Praca ze skanerem czy obiektami 3D to dostęp do praktycznie nieograniczonej liczby form i kształtów przeniesionych w obszar cyfrowy. To kolejne, często nowe możliwości zestawiania i kontrastowania kształtów czy też pojęć. Mowa jest o dużym polu poszukiwań artystycznych, badaniach na styku sztuki i techniki.

Korzystanie ze zdobyczy technologii cyfrowej nie musi oznaczać mechanicznych powtórzeń, produkcji na masową skalę bądź unicestwienia wartości artystycznych danego dzieła. Mimo pozornej łatwości użycia, narzędzie cyfrowe nie zwalnia z posiadania wrażliwości i umiejętności operowania środkami artystycznymi w sposób świadomy. Daje możliwość poszerzenia zasobu stosowanych brył czy zestawień formalnych o nowe wartości estetyczne i semantyczne. Swoje rozważania prezentuję jako wynik kilkuletniego doświadczenia w pracy w obu środowiskach, cyfrowym i analogowym.

Słowa kluczowe: rzeźba cyfrowa, 3D, druk 3D, twórczość, sztuka cyfrowa, modelowanie 3D

Perspektywa twórcy w kontekście rzeźby cyfrowej

— Piotr Idzi

**Zakład Technik Prezentacji i Kreacji Cyfrowej, Wydział Rzeźby
Akademia Sztuk Pięknych im. Jana Matejki w Krakowie**

pidzi@asp.krakow.pl

 <https://orcid.org/0000-0001-9135-6720>

Celem artykułu jest przyjrzenie się możliwościom kreacji rzeźbiarskiej przy użyciu narzędzi cyfrowych. Sposób formułowania i redagowania wypowiedzi artystycznych uległ istotnym modyfikacjom pod wpływem postępu technologicznego. Zarówno powstawanie jak i postrzeganie sztuki znajduje się w momencie dla niej szczególnym, biorąc pod uwagę możliwości techniczne i estetyczne, które stają się jej udziałem za sprawą narzędzi cyfrowych.

Codzienność ulega digitalizacji. Postęp technologiczny jest decydujący dla licznych obszarów cywilizacji, od produkcji agrarnej i budownictwa po zarządzanie zasobami ludzkimi. Cyfryzacja wywiera wpływ również na sztukę. Po muzyce i malarstwie przyszedł czas na rzeźbę. Powyższa kolejność wynika zapewne stąd, że dla przedstawiania, modelowania i wyświetlania zagęszczonych obiektów trójwymiarowych potrzebna dużej mocy obliczeniowej maszyna, która nie była dotychczas powszechnie dostępna. Jeżeli nawet instytucje dysponowały mocnymi komputerami, to sam interfejs programów 3D nie był intuicyjny i przystosowany raczej do działań w obrębie architektury czy filmu. Wraz z digitalizacją



Piotr Idzi, E-TEKTON 2 - detal, druk 3D, PLA, 75×37×24 cm, 2017

Piotr Idzi, E-TEKTON 2 - detal, 3D printing, PLA, 75×37×24 cm, 2017

oraz większą dostępnością programów, zaprojektowanych i dedykowanych rzeźbieniu, wzrasta zainteresowanie sztuką cyfrową. Znanymi są obiekty o wirtualnej proveniencji funkcjonujące w przestrzeni materialnej, często powstające przy użyciu drukarek 3D. Aktualnie jednak spektrum możliwości artystycznych, związanych z postępem digitalizacji, się poszerza. Rzeźby cyfrowej nie można już sprowadzić do druku 3D i fizycznej obecności dzieła. Artefakty coraz częściej kreowane i prezentowane są wirtualnie. Digitalność jest ich początkiem, medium oraz przestrzenią wystawieniową, a nierzadko także nośnikiem treści lub wręcz sednem przekazu. Sztuka tego rodzaju rozgrywa się całościowo w środowisku cyfrowym.

Odwołując się do autorskich doświadczeń, zamierzam przedstawić wnioski o charakterze w dużej mierze partykularnym. Indywidualny charakter niniejszych rozważań wiąże się z krótką historią dyscypliny, jak również z faktem, iż opracowania teoretyczne o tej tematyce dopiero powstają. Stąd wydaje się, iż podsumowywanie doświadczeń jak najliczniejszych twórców jest uzasadnione. Cel niniejszego artykułu należy pojmować jako próbę opisu zjawisk artystycznie nowych i niedostatecznie usystematyzowanych.

Najpierw chciałbym przyjrzeć się doświadczeniu, które powstaje w zetknięciu z urządzeniami cyfrowymi, pośredniczącymi choćby w komunikowaniu się. Mam na myśli wrażenia wizualne, haptyczne oraz bardziej złożone emocje i reakcje, wywołane przez kontakt z czymś dalekim od biologii czy przyrody, co ma na celu ułatwiać relacje między ludźmi. Cytując filozofa Michała Ostrowskiego:

[...] *Doświadczenie technologii jest ciągle w historii człowieka. Zwłaszcza dzisiaj szybko pojawiają się różnice pokoleniowe, wynikające z powstającej nowej technologii. Czas pokolenia przestaje być wyznaczany zegarem biologicznym, gdyż pojawia się zegar związany z asymilacją nowych technologii. Wpływa to na zmianę na przykład międzyludzkiej komunikacji, co może hermetyzować tak pojmowaną pokoleniowość, z jej postawami i zachowaniami. Trudno sobie wyobrazić człowieka sprzed kilkudziesięciu lat, który miałby wejść w dzisiejszy świat, ale może podobnie trudno przyjmować dzisiaj postawy osób, które nie przyjmują do siebie dzisiejszej, powszechnej technologii, co może prowadzić do technologicznego wykluczenia* [5, s. 172].

Bezrefleksyjne funkcjonowanie w takich warunkach nie jest, miejmy nadzieję, udziałem każdego artysty. Przy założeniu, iż współczesny twórca dysponuje odpowiednią wrażliwością i świadomością, można spodziewać się jego głosu pośród nurtu przemian technologicznych. Ten głos nie musi być sprzeciwem, buntem ani też afirmacją cyfryzacji. Może być własnym, autorskim spojrzeniem, może zadawać pytania, komentować, zapraszać do dialogu.

Wspomnieć należy też innych myślicieli i formułowane przez nich założenia omawianej problematyki. Cytat zasługujący na szczególną uwagę pochodzi z eseju Lwa Manovicha *The Poetics of Augmented Space*. Autor mówi o powstaniu nowego zjawiska - *przestrzeni poszerzonej*, którą rozumie jako

[...] *przestrzeń fizyczną, na którą nałożona zostaje dynamiczna warstwa informacyjna, doświadczana przez nas między innymi dzięki multimediami* [4]. Mirocha zauważa, iż [...] *Manovich pisze o interakcji obu przestrzeni, przepływie danych od przestrzeni fizycznej (monitoring, śledzenie) z powrotem do niej (infrastruktura i urządzenia sieci GSM, ekrany komputerów)* [4].

Digitalizacja ma, według niego, wyjątkowy potencjał interpretacyjny. W związku z postępem technologicznym, inaczej wnikliwiej postrzegamy materię. Pojawiły się



Piotr Idzi, *E-TEKTON 4*, druk 3D, PLA, 53×35×29 cm, 2018
Piotr Idzi, *E-TEKTON 4*, 3D print, PLA, 53×35×29 cm, 2018



Piotr Idzi, *E-TEKTON 4*, druk 3D, PLA, 53×35×29 cm, 2018
Piotr Idzi, *E-TEKTON 4*, 3D print, PLA, 53×35×29 cm, 2018

pytania o to, co do tej pory uznawano za oczywiste. Interesujące stanowisko zajmuje Ostrowicki. Wyróżnia dwa rodzaje materii: pierwszą – fizyczną i drugą – elektroniczną,

[...] człowiek tworzy swój świat z materii odnajdywanej w świecie fizycznym lub z materii elektronicznej; natrafiając na różne postaci materii, wnika w nie i je przekształca. Plastyczność materii fizycznej i elektronicznej różni się od siebie i skłaniają do wyborów, ukierunkowując aktywność i ludzkie zaangażowanie [5, s. 84].

Współczesność to zatem nie tylko przenikanie się przestrzeni i materii. Naszym udziałem stają się również możliwości, wynikające z rozwoju technologii. Vilém Flusser zauważa, że

[...] Dopiero wtedy, kiedy weźmiemy pod uwagę obrazy syntezowane przy pomocy komputera, obrazy tego, co nieomal niemożliwe (bo nieuchwytnie, niewyobrażalne i niepojęte), możemy w ogóle zacząć przeczuwać, jak potężna siła wyobraźni bierze tu swój początek¹.

Cechą digitalizacji jest potencjał pojmowany technicznie i ideowo. Narzędzia cyfrowe przysparzają nowych możliwości warsztatowych, zarówno ze względów formalnych jak i treściowych. Postęp technologii może określać zakres tematyki i przekazu dzieła. Medium, w którym pracuje artysta, w dużej mierze determinuje przesłanie oraz sposób wykonania obiektu. Ostrowicki zauważa, że:

[...] Materia elektroniczna przekształca się nie tyle pod dotknięciem dłuta czy ręki, ile raczej myśli, aktu intencjonalnego. Materia elektroniczna umożliwia powstawanie bytów, których forma wprost wyłania się z wnętrza człowieka, nie jest zapośredniczona w pierwotnie jakościowo uformowanym materiale. Nie ma tu czynnika pośredniego, materiału lub tworzywa, z którego wyłania się forma. Wydaje się, że materia elektroniczna nie wyczerpuje się, jest wytwarzana, generowana w tempie rozwoju technologii. Materia fizyczna jest dla człowieka ograniczona i częściowo przekształcona lub wyczerpana, jakby jej ilość była a priori dostrzegana [5, s. 85].

Zasadne wydaje się pytanie o definicję rzeźby cyfrowej. W polskim kręgu artystyczno-kulturowym ciężko o formułę wyczerpującą to zagadnienie. Natrafić można przeważnie na dyskusje o tym, czym jest rzeźbiarstwo cyfrowe, ujmowane dosyć szeroko jako: *dziedzina działań twórczych, której środowiskiem jest przestrzeń cyfrowa*. Poza tym trudno o polskojęzyczne opracowania, które odpowiadałyby na zainteresowanie zarówno odbiorców sztuki, jak i samych artystów.

Na gruncie trwających ponad dziesięć lat obserwacji i działań twórczych w środowiskach wirtualnym i analogowym, postanowiłem samodzielnie zmierzyć się z problemem braku wyjaśnienia, czym jest rzeźba cyfrowa. Przemyslenia i doświadczenia autorskie, a także obowiązki dydaktyczne, doprowadziły do powstania formuły o charakterze konsensusu. Niniejszym proponuję definicję rzeźby cyfrowej, przyjętą na potrzeby prowadzonej przeze mnie Pracowni Rzeźby Cyfrowej na Wydziale Rzeźby Akademii Sztuk Pięknych im. Jana Matejki w Krakowie²:

[...] rzeźba cyfrowa definiuje się nie przez to, że powstaje w cyfrowym świecie, ale przez to, że się ku temu światu kieruje, komentuje go. Wirtualny rodowód obiektu jest warunkiem koniecznym, ale nie wystarczającym. Należy podkreślić, że dzieło nie tylko powstaje w środowisku digitalnym, często istnieje w nim, lecz na tym polu może także podlegać recepcji. Rzeźbę cyfrową tworzymy w środowisku cyfrowym, nie analogowym. Obiekt wykreowany

1 Flusser, Vilém, *Ku uniwersum obrazów technicznych*, przeł. A. Gwóźdź, [w:] A. Gwóźdź (red.): *Po kinie...*, s. 57. cyt. [za: 5, s. 87].

2 Definicja zapisana w karcie przedmiotu Pracowni Rzeźba Cyfrowa na Wydziale Rzeźby Akademii Sztuk Pięknych im. Jana Matejki w Krakowie.

cyfrowo może w związku z tym występować zarówno realnie, np. jako wydruk 3D, jak również wirtualnie. W obu wypadkach rzeźba o cyfrowym rodowodzie nie pozostaje więc jedynie awatarem, zaproszeniem do obejrzenia realnego obiektu (rzeźby) w rzeczywistości. Postrzegana jest jako obiekt przeznaczony do interpretacji i recepcji z perspektywy konotacji cyfrowych. Dlatego w założeniu pracowni rzeźba cyfrowa nosi znamiona digitalności, bez względu na to, w jakiej rzeczywistości czy środowisku funkcjonuje³.

Wracając do autorskich obserwacji, chciałbym przybliżyć metody własnej pracy artystycznej. Istotne z mojego punktu widzenia jest stosowanie drukarek typu FDM – Urbicum MX i Urbicum GX oraz drukarki typu MSLA Anycubic Photon Mono X. Regularnie używam również skanerów, Artec Eva Lite, Einscan Pro HD, a fotogrametrię wykonuję za Meshroom i Recap Pro Photo. Wszystkie modele opracowuję, korzystając z oprogramowania Meshmixer, Zbrush i Blender. Przygotowania do druku realizuję przy pomocy programów Kisslicer, PruSlicer. Wypracowałem zindywidualizowany sposób pracy, którego tradycyjne z punktu widzenia rzeźby cyfrowej założenia postanowiłem rozwinąć. W praktyce artystycznej nie poprzestaję na modelowaniu obiektów w programach 3D albo studiowaniu anatomii i zjawisk fizjologicznych. Stosuję narzędzie, będące rodzajem szeroko pojętej bazy danych – korzystam z bibliotek gotowych obiektów 3D. Dzięki temu przyspieszam prace nad poszczególnymi kształtami, jak również poszerzam pole inspiracji. Mam tu na myśli obiekty czy wzory, których samodzielne wykonanie stałoby się jedynie powodem frustracji, a dostrzeżenie ich wartości w innych warunkach graniczyłoby z niemożliwością. Gotowy model jest jednak dopiero punktem wyjścia do dalszych poszukiwań. Metamorfoza takiego obiektu zachodzi czasem tak daleko, iż pierwotny kształt traci swój rudymen-tarny charakter. Wówczas jedyne, co łączy go z finalną postacią dzieła, to nazwa pliku, pod którą zapisano model w przestrzeni wirtualnej. Dlatego też nie podaję nazwisk autorów obiektów, które mnie zainspirowały. Przetwarzam bowiem kształt tak bardzo, że zupełnie nie przypomina wersji wykonanej i udostępnionej cyfrowo przez pierwszego autora, eksponując surowość stworzonego cyfrowo dzieła.

Bibliotekę kształtów prowadzę z myślą przede wszystkim o własnej wrażliwości. Przechowuję tu pliki znalezione na stronach internetowych w formacie STL, których celowo nie szereguję według nazwy czy funkcji. Pozwalam, by z pozoru chaotycznie ułożone pliki/kształty samoistnie wchodziły w interakcje, wytwarzając pomiędzy sobą napięcie czy działanie, zarówno na poziomie formalnym jak i semantycznym. Posiadaną bibliotekę kształtów cyklicznie, choć nieregularnie, powiększam o obiekty 3D, które wybieram samodzielnie z otaczającej nas „twardej” rzeczywistości. Przy użyciu skanera 3D dodaję trójwymiarowe modele o znaczeniu dla mnie symbolicznym, wiążące się z wydarzeniami, które chciałbym zapamiętać. Pliki w bibliotece bywają też zapisem chwili absolutnie zwyczajnej i znaczeniowo neutralnej. Jeżeli natomiast nie mam przy sobie skanera 3D albo zakres skanowanej powierzchni jest fizycznie za duży, sięgam po aparat fotograficzny w telefonie komórkowym. Następnie, ze zdjęć buduję siatkę 3D, stosując program fotogrametryczny. Tak powstałe trójwymiarowe siatki obciążone są cechą, wykazującą potencjał artystyczny, którą nazywam szumem i często wykorzystuję w swoich pracach. W celu zachowania pożądanego kształtu o złożonej geometrii, korzystam z różnych programów jednocześnie. W środowisku cyfrowym buduję i przetwarzam obiekty 3D, zachowując ich surowy, tj. daleki od naturalnego, wygląd.

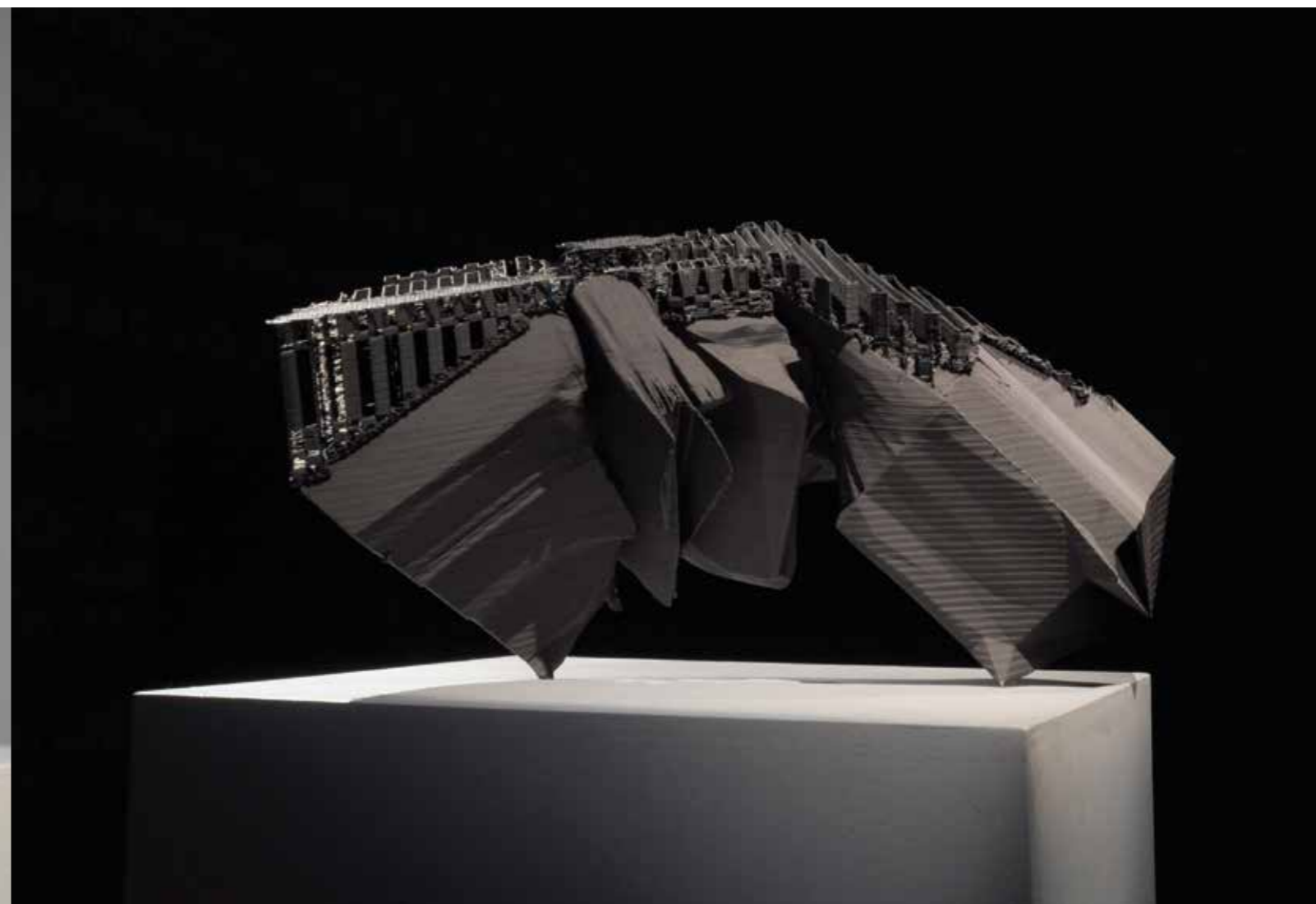
Na przykładzie działalności artystycznej w latach 2013–2022 dostrzegam zasadność pytań:
– Jakie możliwości zyskali twórcy dzięki stosowaniu wirtualnych narzędzi w praktyce rzeźbiarskiej?
– Jak opisać cechy współczesnej rzeźby realizowanej przy użyciu narzędzi cyfrowych?
– Jakich konsekwencji stosowania narzędzi cyfrowych należy się spodziewać?

Dalej przybliżam sedno tych kwestii, odpowiednio tytułując kolejne akapity.

3 Tamże.



Piotr Idzi, *E-TEKTON 6*, druk 3D, PLA, 37×37×16 cm, 2018
Piotr Idzi, *E-TEKTON 6*, 3D print, PLA, 37×37×16 cm, 2018



Piotr Idzi, *Tektonic II*, druk 3D, PLA, 46×21×16 cm, 2016
Piotr Idzi, *Tektonic II*, 3D print, PLA, 46×21×16 cm, 2016

Możliwości, które zyskali twórcy dzięki stosowaniu wirtualnych narzędzi w praktyce rzeźbiarskiej

Lepsze zrozumienie anatomii

O anatomii powstało wiele publikacji, zarówno medycznych jak i tych adresowanych odbiorcom o rozwiniętej świadomości plastycznej. Warto wspomnieć polską książkę *Anatomia plastyczna* Władysława Witwickiego [7] czy też cenioną niemiecką pozycję, *Der nackte Mensch. Hand- und Lehrbuch der Anatomie für Künstler* [2]. Ukazuje ona mechanikę oraz podstawowe bryły, z których zbudowana jest ludzka sylwetka, była wzorem bardzo popularnej *Anatomy for sculptures Understanding human Figure* [8], poszerzonej o skany 3D ciała lub jego części. Skany 3D lepiej ujawniają fenotyp ludzkiego ciała. Widać tu bowiem nie tylko mięśnie, ale także ich granice i przejścia pomiędzy jednym kształtem a drugim. Przy pomocy prawdziwie trójwymiarowych obrazów uchwycono tu większość detali u osób w pozach dynamicznych. Wszystkie wymienione pozycje posługują się zdjęciami, rysunkami albo zdjęciami skanów 3D. Są to jednak płaskie obrazy, które z punktu widzenia rzeźbiarza trzeba interpretować. Istotna jest analiza pod kątem przestrzennym *sensu stricto*. Pomocne okazują się programy komputerowe lub modele anatomiczne w formie plików, dzięki którym można rozkładać poszczególne części ciała na osobne elementy. W programach da się ponadto ukrywać poszczególne partie mięśni, aby zobaczyć, co jest pod spodem. Pozwala to lepiej rozumieć warstwową budowę ciała człowieka. Największą zaletą jest zaś funkcjonalność, przedstawiająca model anatomiczny w formie przestrzennej. W konsekwencji, możemy swobodnie wniknąć w dany zakątek ciała i pozyskać informacje odpowiadające każdorazowo indywidualnie na potrzeby konkretnego dzieła. Mając na uwadze wyłącznie cele autorskich poszukiwań, zyskujemy daleko idącą autonomię poznawczą. Wgląd w zawiłości anatomii nie jest dzięki digitalizacji związany ograniczeniami szaty graficznej danej książki, ani też nie podlega intencjom jej autora.

Ponadto, w warsztacie rzeźbiarskim, przy użyciu narzędzi cyfrowych, możliwe jest:

- Przenoszenie wymiarów i analiza kształtów

Dzięki temu możemy wysłać, przenosić, wymieniać i przechowywać dowolne wymiary lub kształty szybciej niż kiedykolwiek (chmura punktów).

- Szybkość generowania obiektów

Istotnie usprawnia generowanie różnorodnych i skomplikowanych kształtów.

- Ingerencja w przestrzenny obiekt niematerialny w czasie rzeczywistym

Umożliwia opracowywanie obiektów trójwymiarowych bez użycia gliny, papieru czy innego materiału.

- Trwałość i odwracalność zmian

Funkcje cofnij lub ponów pozwalają nie tylko śledzić rozwój dzieła, ale przede wszystkim przywrócić lub odzyskać najlepszą jego wersję. Zmienia to przede wszystkim podejście do procesu twórczego, którego punktem krytycznym staje się podjęcie właściwej decyzji.

- Brak siły grawitacyjnej

Oznacza brak problemów związanych z konstruowaniem obiektów. Ma również wpływ na komponowanie trójwymiarowego dzieła. Środek ciężkości lub punkt styku kształtu z płaszczyzną podstawy możemy ustalić w dowolnym momencie, nawet pod koniec pracy w programie.

- Skalowalność

Raz wykonane obiekty 3D można zmieniać i umieszczać w różnych kontekstach.

- Nieograniczone zasoby „biblioteki kształtów”

Dostępne publicznie skany 3D rzeźb/obiektów 3D pozwalają na korzystanie z porcji obiektów wykonanych przez innego autora oraz ich przetwarzanie.

- Dokonywanie złożonych deformacji

Dzięki funkcjonalnościom z tej grupy potrafimy szybko i swobodnie przetwarzać kształty obiektów z pominięciem problemów wynikających z ich wewnętrznej konstrukcji. W ten sposób możliwe stają się deformacje wykraczające poza możliwości i ograniczenia, spotykane w trakcie pracy w materiale.

Podobne omówienie zawarłem w rozprawie doktorskiej *Formy e-tektoniczne, rzeźba w rzeczywistości poszerzonej*.

Wspólnym mianownikiem wszystkich wymienionych potencjałów, wynikających z przeniesienia choćby części warsztatu rzeźbiarskiego do środowiska wirtualnego, jest brak materiału. W przypadku rzeźby cyfrowej oznacza to, że artysta zyskuje duże pole możliwości, a istotnym dla niego problemem staje się podjęcie właściwej decyzji. Jednocześnie brak oporu materiału sprawia, że artysta traci ważnego oponenta. Brak materiału to jeden z wielu aspektów stosowania narzędzi cyfrowych, których konsekwencje szerzej opisuję poniżej.

Wartość obiektów wytwarzanych maszynowo

Możliwość pozyskiwania precyzyjnych i skomplikowanych kształtów w sposób zautomatyzowany stworzyła pewien paradoks. Z jednej strony generowane cyfrowo obiekty nie wymagają aż tak dużego nakładu ludzkiej pracy, co teoretycznie powoduje spadek ich wartości, nawet w przypadku unikatowych wzorów. Z drugiej jednak strony, wciąż niepowszechna dostępność maszyn oraz ich wysoka cena rynkowa sprawiają, że niektóre, zwłaszcza wielkogabarytowe obiekty, są niezwykle drogie. Ponadto, z praktycznego punktu widzenia, nie można wykonywać ich imitacji ręcznie.

Zmiany w estetyce odlewów wykonywanych z brązu

Działanie narzędzi cyfrowych wpływa także na sposób cyzelowania i patynowania brązu. Obecnie odchodzi się od bogatych faktur, śladów dłoni czy ekspresji gestu. Ustępują one miejsca perfekcyjnie polerowanym powierzchniom, zbliżonym do tafli lustra. Charakterystycznym dla prac Joseph’a Klibansky’ego. Efekt wypolerowanych powierzchni bywa tak interesujący, że nieświadomi jego proweniencji twórcy próbują go naśladować. Wówczas oba światy, analogowy i elektroniczny, jeszcze mocniej się przenikają. Polerowane powierzchnie rzeźb można wymieniać jako charakterystyczne dla stosowania narzędzi cyfrowych w sztuce.

Poniżej zamieszczam ogólną i autorską klasyfikację cech rzeźby cyfrowej oraz nazwiska autorów, których prace uważam za reprezentatywne dla poszczególnych jakości.

Uproszczenia - najbardziej powszechna cecha, polegająca na uwidocznieniu podstawowego elementu, z którego zbudowana jest rzeźba cyfrowa, czyli siatki trójkątów (poligonów). Niekiedy obiekt rzeźbiarski przedstawia jednorodną strukturę trójkątów (Paweł Orłowski, Xavier Veilhan). Innym razem występuje gradacja lub kontrast wielkości trójkątów. Gdzie duże syntetyczne trójkąty zestawione są małymi budującymi niekiedy bardzo szczegółowe detale, jak chociażby w pracach Davide Quayola.

Multiplikacje - Dość powszechna cecha rzeźby cyfrowej, reprezentowana często przez zbiór obiektów, powstałych w wyniku wielokrotnego kopiowania jednego elementu.

Układem reprezentatywnym dla multiplikacji jest również szyk, czyli podobnie zbiór obiektów-kopii, ale uwzględniający rytmiczne powtórzenia pewnych zmian. Tego typu efekty widoczne są w twórczości Ken'a Kelleher'a (prace *Tomahawk*, *Inner Child*, *Velocity*, ect.).

Deformacje - Widoczne w sztuce glitch-artu. Sprowadzają się do przewidywalnego i mechanicznego przekształcania obiektów. Przeważnie jest to przesunięcie w jedną stronę lub od centrum obiektu na zewnątrz, lub zawinięcia obiektów wokół osi. Efekt uzyskuje się na poziomie oprogramowania, w którym wybrana część zaznaczonej siatki 3D jest wyciągana (przy użyciu narzędzia *move*, *extrude*, *twist* ect.). Przykład: Léo Caillard (seria *Wave stone* 2017), Tony Cragg (większość prac po 2000 roku).

Przenikania - Łatwość przenikania obiektów w środowisku wirtualnym sprawia, że jest to dość powszechna cecha wykonywanych cyfrowo rzeźb. Chociaż nie jest już jakością bardzo nową, to artyści chętnie korzystają z jej potencjału. Charakterystyczne dla współczesnych rzeźb jest uwidocznienie i zaakcentowanie granic przenikania się jednego i drugiego obiektu. Tendencja ta jest szczególnie widoczna w przypadku, gdy kształty wykonane są z kilku różnych materiałów lub różnią się od siebie kolorem. Jako przykład warto podać prace Geharda Demetza.

Podsumowanie

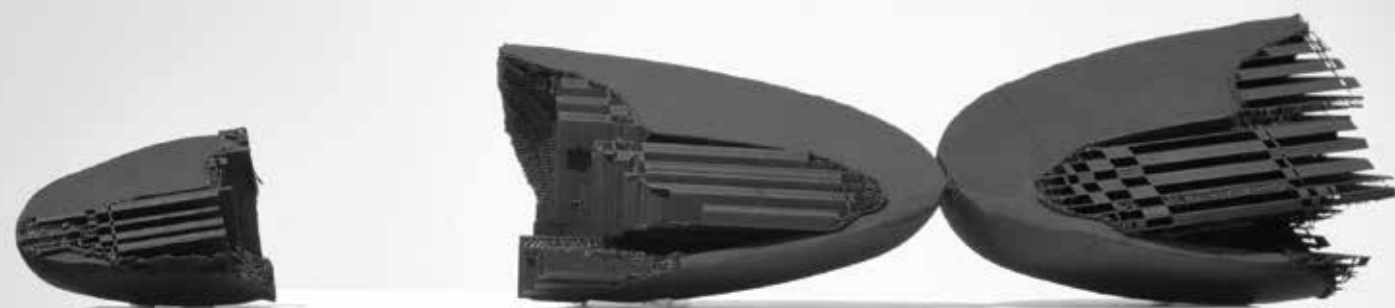
Dostępność mediów, łatwość pozyskiwania kształtów ze skanów 3D powodują istotne zmiany w procesie twórczym i samym dziele. Rzeźbiarze znani z kart historii sztuki pracowali tony gliny, kamienia czy brązu. Dziś tym materiałem są terabajty danych, setki lub miliony powidoków. Droga w procesie twórczym nie sprowadza się już do ilości opracowanej gliny i innych tworzyw. Obecnie liczy się jakość selekcjonowanych i odrzucanych powidoków. Rzeźba w cyfrowym wydaniu fascynuje możliwościami programów komputerowych trudno dostępnymi w realnym świecie, których efekty widoczne są w postaci cech zebranych pod pojęciami takimi, jak uproszczenia, multiplikacje, deformacje czy też przenikania. Technologia pozwala szybciej wyjść poza obszar, który znamy. Dzięki niej robi się to bezpieczniej i łatwiej. Zasadne staje się pytanie, jak współczesny twórca wykorzystuje jedynie techniczne możliwości urządzeń. Czy pokazanie funkcjonalności programu jest celem jego sztuki samym w sobie? Wciąż jednak aktualne pozostaje pytanie przesłanie dzieła. Czy dany twórca korzysta z możliwości wirtualnego świata, by powiedzieć coś więcej?



Piotr Idzi, *Reload*, druk 3D, 48×27×22 cm, 2016
Piotr Idzi, *Reload*, 3D print, 48×27×22 cm, 2016

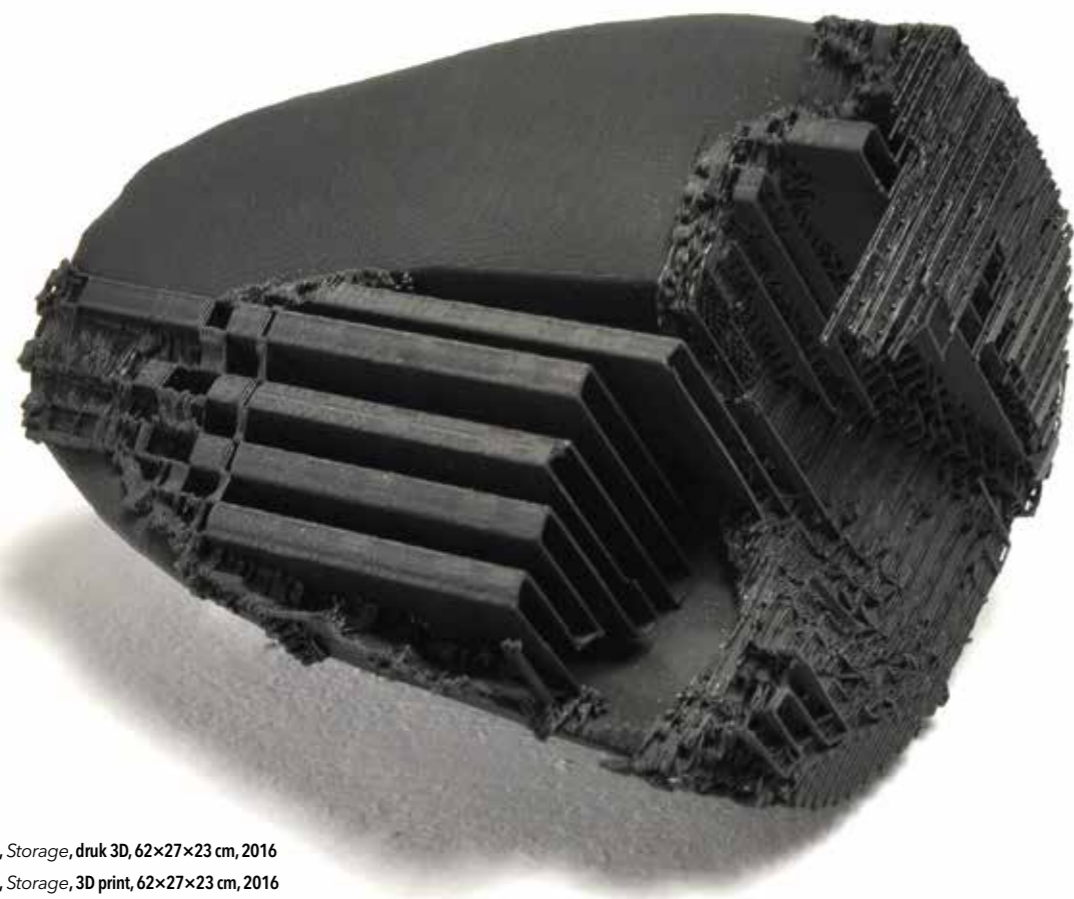


Piotr Idzi, *Reload*, detal, druk 3D, 48×27×22 cm, 2016
Piotr Idzi, *Reload*, detal, 3D printing, 48×27×22 cm, 2016



Piotr Idzi, *Storage*, druk 3D, 62×27×23 cm, 2016

Piotr Idzi, *Storage*, 3D print, 62×27×23 cm, 2016



Piotr Idzi, *Storage*, druk 3D, 62×27×23 cm, 2016

Piotr Idzi, *Storage*, 3D print, 62×27×23 cm, 2016

Thanks to computer programs supporting digital tools, a given artistic project can obtain the desired form in an extremely precise manner, without the resistance of matter or gravity. The degree of accuracy of the actions performed by these devices depends on their parameters and technical settings. By gaining knowledge and experience in this field, the artist can develop not only their technique, but also an artistic awareness. It implies entering a dialogue with both the material, and the machine, which sometimes suggests surprising solutions on its own.

Working with a 3D scanner or 3D objects means access to an unlimited number of forms and shapes transferred to the digital area. These are other, often new, possibilities of juxtaposing and contrasting shapes or concepts. A large area of artistic exploration is being discussed here, research led between arts and technology.

Exploiting the digital technology does not have to rely on mechanical repetition, mass production, or the destruction of the artistic value of a given work. Despite the apparent ease of use, the digital tool does not exempt from having the sensitivity and the ability to use artistic means in a conscious manner. It gives the possibility of extending the resource of the shapes used or formal juxtapositions with new aesthetic and semantic values.

I base my considerations on several years' experience of working in both environments, digital and analogue.


Keywords: digital sculpture, 3D, 3D printing, creativity, digital art, 3D modelling

The Creator's Perspective in the Context of Digital Sculpture Abstract

— Piotr Idzi

**Department of Digital Presentation and Creation Techniques,
Faculty of Sculpture, Jan Matejko Academy of Fine Arts in Kraków**

pidzi@asp.krakow.pl

 <https://orcid.org/0000-0001-9135-6720>

The aim of this article is to look at the possibilities for sculptural creation with the use of digital tools. The way of formulating and editing artistic expression has changed significantly as a result of technological progress. Both the creation and perception of art is now at a special moment, in view of the technical and aesthetic possibilities that are becoming part of it thanks to digital tools.

Everyday life is becoming digitised. Technological progress is crucial in numerous areas of society, from agrarian production and construction to human resource management. And digitisation also has an impact on art. After music and painting, the time has now come for sculpture. This order probably results from the fact that in order to present, model and display compacted three-dimensional objects, it is necessary to have a high computing power of machines, which has not been widely available so far. Even if institutions had powerful computers, the 3D software interface itself was unintuitive and more suited to activities in architecture or the film industry. With digitisation, and the greater availability of software designed for and dedicated to sculpture, the

interest in digital art has increased. Objects of virtual provenance are known to function in the material space, often being created using 3D printers. Currently, however, the spectrum of artistic possibilities related to the progress of digitisation is expanding. Digital sculpture can no longer be reduced to 3D printing and the physical presence of the work. More and more artefacts are now being created and presented virtually. The digital world is where they are created, as well as their medium and exhibition space, and often also the carrier of their content and even the essence of their message. Art of this kind takes place as a whole in the digital environment.

Through reference to my own experience, I intend to present conclusions of a very particular nature. The individual nature of these considerations is associated with the short history of the discipline, as well as the fact that theoretical studies on this subject are still ongoing. Therefore, it would seem that summarising the experiences of as many creators as possible is justified. The purpose of this article should be understood as an attempt to describe these new artistic phenomena that have been insufficiently systematised to date.

Firstly, I would like to take a look at the experience that arises when we come into contact with digital devices that are designed to facilitate communication, for example. By this, I mean visual, haptic (tactile) and more complex emotions and reactions that are caused by having contact with something far removed from biology or nature and which is aimed at facilitating relationships between people. To quote the philosopher Michał Ostrowicki:

[...] Experiencing technology is constantly present in human history. Especially today, generational differences emerge quickly as a result of new technologies. Generation time ceases to be determined by the biological clock, as a clock associated with the assimilation of new technologies appears. This affects changes in interpersonal communication, for example, which can encapsulate this “generationality” as it is understood, with its attitudes and behaviours. It is hard to imagine a person from several decades ago entering today’s world, but it may be equally difficult to accept the attitudes of people who do not adopt today’s universal technology, which may lead to technological exclusion [5, p. 172].

Hopefully, it is not the case that every artist engages in non-reflective thinking in these conditions. Assuming that the contemporary artist has sufficient sensitivity and awareness, one can expect to hear their voice amidst the constant stream of technological change. This voice does not have to be an objection, a rebellion or an affirmation of digitisation. It can be its own author’s view, it can ask questions, comment, invite dialogue.

It is important to mention here some other thinkers and the assumptions they have formulated about the issues at hand. One quotation deserving of special attention comes from an essay by Lev Manovich, entitled “The Poetics of Augmented Space”, in which he talks about the emergence of a new phenomenon – *augmented space* – which [...] “is defined as a spatial form that we experience which is filled in with dynamic and rich multimedia information”. [4] Mirocha notes, “Manovich writes about the interaction between both spaces – the flow of data from the physical space (monitoring, tracking) and then back again (GSM network infrastructure and devices, computer screens)” [4]. According to him, digitisation has a unique interpretative potential. Due to technological progress, we perceive matter differently and more closely. Questions have arisen about things that were previously been taken for granted. Ostrowicki offers an interesting opinion by distinguishing between two types of matter: the first physical, and the second electronic.

[...] Man creates his world from matter found in the physical world or from electronic matter; when he encounters various forms of matter, he penetrates and transforms them. The plasticity of physical and electronic matter differs from each other and encourages choices, directing activity and human engagement [5, p. 84].

Modernity is not only about the interpenetration of space and matter, therefore, and possibilities resulting from the development of technology also play a part. Vilém Flusser notes that:

[...] Only when we focus on computer-synthesized images, images of the nearly impossible (because they are intangible, unimaginable and incomprehensible), can we even start to suspect what sort of hallucinatory power is at hand. A feature of digitisation is that it is potential understood in a technical and ideological way. Digital tools provide new opportunities in the studio, in terms of both form and content. Technological progress can determine the scope of the subject matter and also the message of the work, with the medium in which the artist works largely determining the message and the manner by which the object is created. Ostrowicki states that:

[...] Electronic matter is transformed not so much by the touch of a chisel or a hand, but rather by thoughts, as an intentional act. Electronic matter enables the formation of beings whose form directly emerges from the human interior; it is not mediated in the original qualitatively formed material. There is no intermediate medium, material or substance from which the form emerges. It seems that electronic matter is not exhausted; it is produced, generated, at the pace of technological development. Physical matter is limited and partially transformed or exhausted for man, as if its quantity were a priori perceived [5, p. 85].

It seems reasonable to ask about a definition of digital sculpture. In Polish artistic and cultural circles, it is difficult to find an exhaustive formula for this issue. One can usually come across discussions about what digital sculpture is, in which it is broadly defined as *a field of creative activities whose environment is the digital space*. In addition, it is also difficult to find any studies in the Polish language that would meet the needs of both the recipients of art and the artists themselves.

On the basis of over ten years of observation and creative activity in the virtual and analogue environments, I decided to face this problem of the lack of an explanation about what digital sculpture is. My own reflections and experiences, as well as didactic duties, led me to come up with a formula for consensus. I hereby propose the following definition of digital sculpture, adopted for the needs of my Digital Sculpture Studio in the Faculty of Sculpture at the Jan Matejko Academy of Fine Arts in Kraków:⁴

[...] Digital sculpture is defined not by the fact that it is created in the digital world, but by the fact that it is directed towards this world, and comments on it. The virtual origin of the object is a necessary, though insufficient, condition. It should be emphasised that the work is not only created in a digital environment, often existing in it, but it can also be received in this field. We create a digital sculpture in a digital environment, not an analogue one. Therefore, a digitally created object can exist both in the real world, e.g. through 3D printing, and virtually. In both cases, a sculpture with a digital origin does not remain just an avatar, an invitation to see the actual object (sculpture) in reality. It is perceived as an object intended for interpretation and reception from the perspective of digital connotations. In the Studio’s approach, therefore, digital sculpture bears the hallmarks of digitality, regardless of the reality or environment in which it exists⁵.

Returning to my own observations, I would like to present the methods used in my own artistic work. From my point of view, it is important to use FDM printers – the Urbicum MX and Urbicum GX – as well as the Anycubic Photon Mono X MSLA printer. I also use the

⁴ This definition is written in the syllabus of the Digital Sculpture Studio in the Faculty of Sculpture at the Jan Matejko Academy of Fine Arts in Kraków.

⁵ Ibid.

Artec Eva Lite and EinScan Pro HD scanners on a regular basis, while for photogrammetry I use Meshroom and ReCap Pro Photo. I develop all my models using Meshmixer, ZBrush and Blender software, and prepare for printing with the help of KISSlicer and PrusaSlicer. I came up with an individualised way of working and decided to develop its traditional assumptions from the point of view of digital sculpture. In my artistic practice, I don't stop at modelling objects in 3D software or studying anatomy and physiological phenomena, but I also use a tool that is a kind of database - libraries of ready-made 3D objects. Thanks to this, I can accelerate my work on individual shapes, and also expand my field of inspiration to include objects or patterns that would be a cause of frustration if I were to try to create them independently, and which would be impossible to perceive value in if they were created in other conditions. However, this ready-made model is only the starting point for my further research. The metamorphosis of such an object sometimes goes so far that the original shape loses its rudimentary nature. Then the only thing that connects it with the final form of the work is the file name under which the model was saved digitally. That is why I do not mention the names of the authors of the objects that inspired me. I process the shape so much that it no longer resembles the version originally created and made digitally available by the first author, thus exposing the rawness of the digitally created work.

I maintain a library of shapes primarily with my own sensitivities in mind. I store files found on websites in STL format, which I deliberately do not sort by name or function, and I also allow seemingly chaotically arranged files/shapes to spontaneously interact with each other, creating tension or some kind of action between themselves, both on a formal and semantic level. From time to time, although irregularly, I expand my library of shapes with certain 3D objects, which I choose independently from the 'hard' reality that surrounds us. Using a 3D scanner, I add three-dimensional models that are of symbolic importance to me, and which are associated with events that I would like to remember. The files in my library are also records of very ordinary moments that have no strong meaning for me. If I don't have a 3D scanner with me, or the size of the scanned area is physically too large, then I use the camera on my mobile phone. Next, I build a 3D grid using photogrammetric software. The three-dimensional grids created in this way are burdened with a feature that I term noise, which shows artistic potential and is something I use often in my works. In order to maintain the desired shape with complex geometry, I use different programs at the same time. In the digital environment, I then build and process the 3D objects while still maintaining their raw, i.e. far from natural, appearance.

On the basis of my artistic activity from 2013-2022, I believe the following questions are valid:

- What opportunities have creators gained by using virtual tools in sculptural practice?
- How should we describe the features of contemporary sculpture implemented with the use of digital tools?
- What consequences of using digital tools are to be expected?

I will now further elaborate on the essence of these issues in the paragraphs below, which are titled accordingly.

The opportunities that creators have gained by using virtual tools in sculptural practice

A better understanding of anatomy

There are many publications about anatomy, both medical books and also ones intended for readers with developed artistic awareness. Worthy of mention here are: the Polish book *Anatomia plastyczna* [Artistic Anatomy] by Władysław Witwicki [7] and also the highly regarded German work, *Der nackte Mensch: Hand- und Lehrbuch der Anatomie für Künstler* [2]. Showing the mechanics and basic building blocks that make

up the human body, this was the model for the very popular book *Anatomy for Sculptures: Understanding the Human Figure* [8], which was extended with 3D scans of the body and its various parts. 3D scans better reveal the phenotype of the human body as we can see not only the muscles, but also their boundaries and transitions between one shape and another. With the help of truly three-dimensional images, most of the details were captured in people in dynamic poses. All of the items listed use photographs, drawings or photos of 3D scans. However, these are flat images that must be interpreted by the sculptor, so some analysis in strict spatial terms is also important. Computer software or anatomical models (files) are helpful as they make it possible to break down individual parts of the body into separate elements. This software also enables you to hide individual parts of the muscles to see what lies underneath, thus allowing a better understanding of the layered structure of the human body. Its greatest advantage is its functionality, presenting an anatomical model in a spatial form. As a result, we can freely penetrate any given corner of the body and obtain information that corresponds individually to the needs of a specific work. Just bearing in mind the goals of our specific research, we can gain far-reaching cognitive autonomy. Thanks to digitisation, our insight into the complexity of anatomy is not bound by the limitations of a book's graphic design, and nor is it subject to the intentions of the author.

Moreover, a sculpting studio equipped with digital tools allows for:

- **Dimensional transfer and shape analysis:** This allows us to send, move, exchange and store any size or shape faster than ever (point cloud).

- **Rapid object generation:** This significantly improves the process of generating varied and complex shapes.

- **Real-time interference with a spatial intangible object:** This enables the development of three-dimensional objects without the use of clay, paper or other material.

- **Permanence and reversibility of changes:** The undo and redo features allow you not only to track the development of a work, but, above all, to restore or retrieve its best version. This primarily changes the approach to the creative process, with the critical point being making the right decision.

- **No gravitational pull:** This means that there are no problems related to the construction of objects, as this force also affects the composition of a three-dimensional work. The centre of gravity, or the point of contact between the shape and the ground, can be determined at any time, even at the end of the work using the software.

- **Scalability:** Once made, 3D objects can be changed and placed in different contexts.

- **Unlimited resources of 'shape libraries':** Publicly available 3D scans of sculptures/3D objects allow you to use the proportions of objects made by another author and process them.

- **Complex distortions:** Thanks to the functionalities of this group, we are able to quickly and freely process the shapes of objects without any issues resulting from their internal construction. In this way, distortions beyond the possibilities and limitations encountered during work with material become possible.

A similar discussion was included in the doctoral dissertation entitled 'E-tectonic forms – sculpture in augmented reality'.

The common denominator of all these potentials, which result from transferring even just part of the sculpture studio to the virtual environment, is the lack of use of any kind of material. In the case of digital sculpture, this means that the artist gains a wide range of possibilities, and making the right decision becomes a key issue. At the same time, the lack of resistance of the material also means that the artist loses an important opponent. The lack of material is one of many aspects of using digital tools whose consequences are described in more detail below.

The value of machined objects

The possibility to obtain precise and complex shapes in an automated manner has created a certain paradox. On the one hand, digitally generated objects do not require so much human effort, which theoretically results in their value decreasing, even for unique patterns. On the other hand, however, the still widespread availability of machines and their high market price make some objects, especially large-scale ones, extremely expensive. In addition, from a practical point of view, it is not possible to imitate them manually.

Changes in the aesthetics of bronze castings

The operation of digital tools also affects the way bronze is cured and patinated. Nowadays, people are moving away from rich textures, handprints or the expression of gestures towards perfectly polished surfaces similar to a mirror pane. This is characteristic of Joseph Klibansky's works. The effect of polished surfaces is so interesting that creators, unaware of its provenance, then try to imitate it, which results in both worlds, analogue and digital, becoming even more intertwined. Polished surfaces of sculptures can be listed as one of the characteristics of the use of digital tools in art.

Below is my own general classification of the main features of digital sculpture and the names of those authors whose works I consider to be representative of these individual qualities.

Simplification: This is the most common feature and relates to the visibility of the basic element from which the digital sculpture is built, i.e. the grid of triangles (polygons). Sometimes, the sculpture presents a homogeneous structure of triangles (Paweł Orłowski, Xavier Veilhan), but in other cases, there is a gradation or contrast in the size of the triangles, with large synthetic triangles juxtaposed with small, sometimes very fine details, such as in the works of Davide Quayola.

Multiplication: A fairly common feature of digital sculpture, which is often represented by a collection of objects created as a result of the multiple copying of a single element. A system that is representative of multiplication is also an array, i.e. a set of objects-copies, but which takes into account the rhythmic repetitions of certain changes. Such effects are visible in the works of Ken Kelleher (Tomahawk, Inner Child, Velocity, etc.).

Distortions: Visible in glitch art, these refer to the predictable and mechanical transformation of objects. They usually involve the object being offset in one direction, positioned off-centre, or wrapped around its axis. This effect is obtained using software, when the selected part of the 3D grid is extracted (using features such as move, extrude and twist, etc.). Examples include Léo Caillard (his *Wave Stone* series from 2017) and Tony Cragg (most works after 2000).

Penetration: The ease with which objects can be penetrated in a virtual environment makes it quite a common feature of digitally created sculptures. Although it is no longer a very new quality, artists are still eager to use its potential. A characteristic feature of contemporary sculptures is the visibility and accentuation of the boundaries of interpenetration of two objects. This trend is particularly evident if the shapes are made from several different materials or if they differ in colour. Gehard Demetz's works are a good example here.

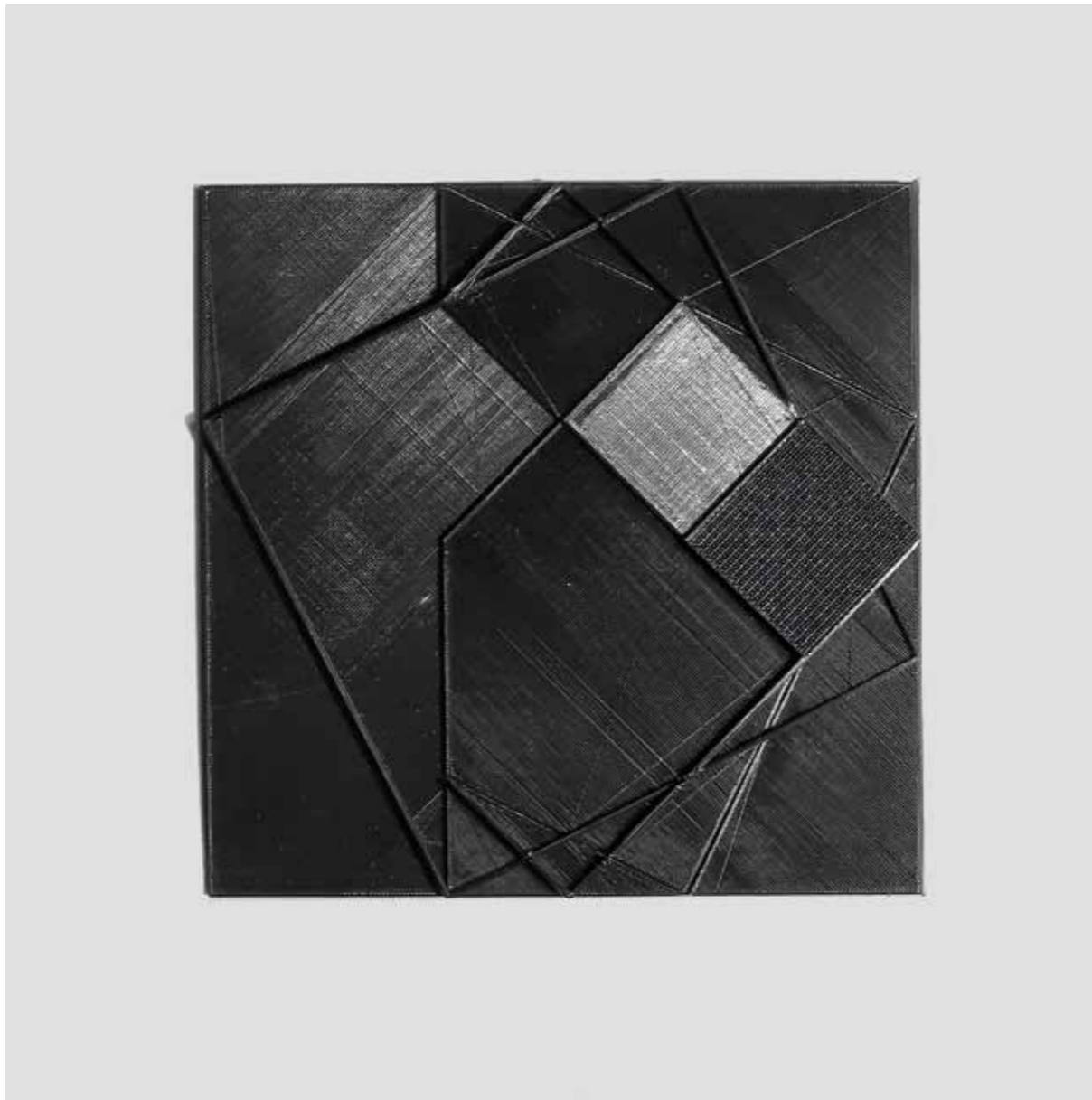
Conclusion

The availability of media and the ease with which shapes can be obtained from 3D scans is resulting in significant changes to the creative process and artworks themselves. Throughout the history of art, sculptors used to work through tones of clay, stone or bronze. But today, the material is terabytes of data, and hundreds or even millions of afterimages. The path of the creative process no longer comes down to the amount of clay or other materials used. It is the quality of the images selected and rejected that counts now. Digital sculpture is fascinating due to the many possibilities afforded by computer software that are difficult to obtain in the real world, with the effects visible in the form of features collected under such terms as simplification, multiplication, distortion or penetration. Technology allows us to move faster beyond the realm we know, making it safer and easier. It's reasonable to ask how a contemporary creator should use only the technical capabilities of devices. Is it the purpose of the art in itself to demonstrate the functionality of the software? However, the question about the message of the work still remains. Does the creator use the possibilities of the virtual world to say something more?

Bibliografia

Bibliography

- [1] Baudrillard J., *Spisek sztuki*, tłum. S. Królak, Warszawa 2006.
- [2] Bammes G., *Der nackte Mensch. Hand- und Lehrbuch der Anatomie für Künstler*, Veb Verlag Der Kunst, Dresden 1982.
- [3] Manovich L., *Język Nowych Mediów*, Wydawnictwa Akademickie i Profesjonalne, Warszawa 2006.
- [4] Mirocha Ł., *Nowa estetyka i rzeczywistość poszerzona o sferę cyfrową*, <https://bibliotekanauki.pl/articles/563994> (data dostępu/access: 04.06.2022).
- [5] Ostrowicki M., *Ontoelektronika*, Wyd. Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2013.
- [6] Welsch W., *Procesy estetyzacji – zjawiska, różniczenia, perspektywy*, tłum. K. Gucałska, [w:] *Estetyka poza estetyką: o nową postać estetyki*, red. K. Wilkoszewska, Kraków 2005.
- [7] Witwicki W., *Anatomia plastyczna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 1960.
- [8] Zarins U., Kondrats S., *Anatomy for Sculptors, Understanding the Human Figure*, Exonicus LLC, 2014.
- [9] <https://josephklibansky.com/artworks#sculptures> (data dostępu/access: 05.05.2022).
- [10] <https://quayola.com/work/sculpture/captives-b04.php> (data dostępu/access: 19.05.2022).
- [11] https://rzezba.asp.krakow.pl/wp-content/uploads/2018/10/Piotr-idzi_Rozprawa_Foto_Ang.pdf (data dostępu/access: 04.05.2022).
- [12] <http://www.geharddemetz.com/works.asp?sezone=w&l1=1&id=1> (data dostępu/access: 19.05.2022).
- [13] <https://www.kenkelleher.com/> (data dostępu/access: 04.04.2022).
- [14] <https://www.leocaillard.com/artworks.html> (data dostępu/access: 13.05.2022).
- [15] <http://www.pawelorlowski.com/> (data dostępu/access: 27.05.2022).
- [16] <https://www.tonycragg.com/> (data dostępu/access: 19.05.2022).
- [17] <http://www.veilhan.com/#!/en/news?y=0&x=0> (data dostępu/access: 19.05.2022).



Aleksander Józef Olszewski, cykl 3×3 *Morfoizm*, tech. 3D, 30×30 cm, 2021. Źródło: A.J. Olszewski
Aleksander Józef Olszewski, series 3×3 *Morfoizm*, tech. 3D, 30×30 cm, 2021. Source: A.J. Olszewski

Ostatnie osiągnięcia dotyczące sprzętu komputerowego i oprogramowania powoduje coraz większą liczbę możliwych zastosowań. Z techniki komputerowej korzysta wiele dziedzin życia gospodarczego i społecznego, kulturalnego. Trudno wskazać profesję czy obszar życia społecznego, gdzie nie mógłby być stosowany komputer. Do tej pory projektowanie było traktowane jako osobista twórcza praca. Okazuje się jednak często, że w gruncie rzeczy opiera się ona na kolejnym udoskonaleniu jakiejś „formy bazowej” algorytmu czy formy w ogóle. I tu okazuje się, że komputer jest nie do zastąpienia. Obraz ekranowy jest nośnikiem i zarazem medium, przekazywania informacji, a współczesny sprzęt komputerowy daje duże możliwości wykorzystania tego środka.

Słowa kluczowe: algorytm, analiza, druk cyfrowy, permutacja

Algorytm a technologia

— Aleksander Józef Olszewski

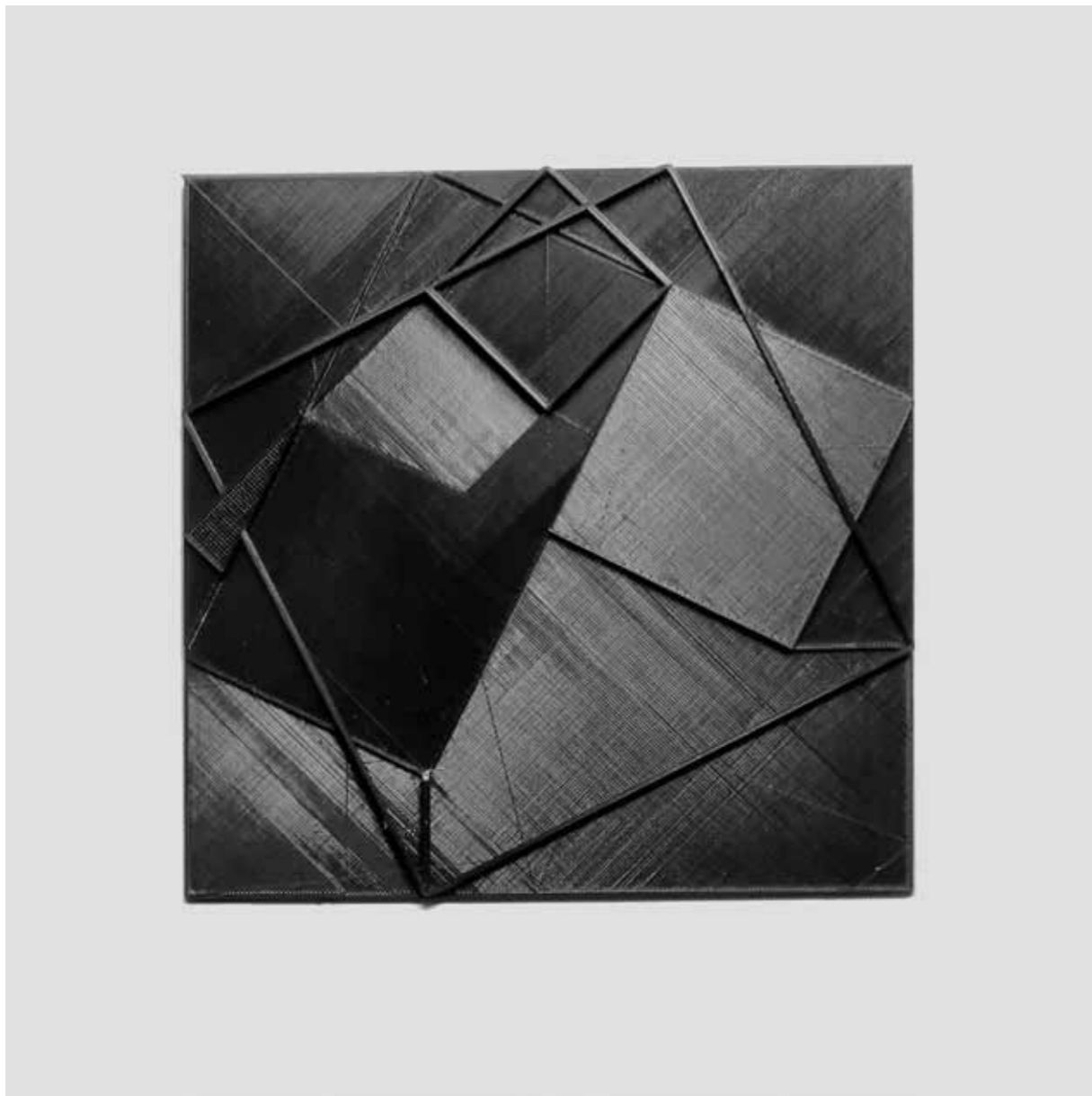
Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu

a.olszewski2@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-8164-1488>

Na początku kwietnia 2022 roku otrzymałem od Pani dr Moniki Aleksandrowicz z ASP Wrocław zaproszenie do udziału w konferencji *Interakcja i Kreacja*. Jak wyczytałem w zaproszeniu jednym z motywów elementów konferencji będzie technologia cyfrowa 3D. Termin technologia cyfrowa przywołał ciąg zdarzeń sprzed lat. Myślę tu o Warsztatach Sztuki Cyfrowej, które miały miejsce pod Płockiem w 2005 roku. Przeglądając ówczesny tekst [4], który napisałem po plenerze, stwierdziłem, że nic nie stracił ze swej aktualności i trzeba go poddać zabiegowi modyfikacji. To właśnie uczynię, dodając przekształcenia.

W roku 2005 zdecydowałem się na udział ze względu na termin: wrzesień, brak zajęć w uczelni i chęć poznania Płocka oraz interesujących twórców, zajmujących się grafiką cyfrową, np. Janem Pamulą – wybitnym prekursorem tej sztuki w Polsce. Patrząc z pewnej perspektywy na warsztaty cyfrowe, organizowane przez Jerzego Mazusia i Bożenę Sliwińską, trudno przecenić ich kulturotwórczą rolę w rozwoju i integracji środowiska tworzącego i posługującego się warsztatem czy technologią cyfrową. Właśnie dzięki wydawnictwom Galerii Płockiej mogłem poznać różne postawy wobec sztuki cyfrowej. Z wieloma poglądami identyfikuję się, a w stosunku do niektórych mam wątpliwości. Dużym moim zaskoczeniem było zaangażowanie się Jerzego Mazusia – znakomitego grafika warsztatowego, który dostrzegł w tych działaniach nową formę wyrazu i ekspresji, w grafikę cyfrową. Wypada w tym miejscu, w roku 2022 zapytać, Jurku żyjesz? co robisz cyfrowo. Nie mam z nim kontaktu, ale kartki świąteczne nam się wysyłają. Bardzo interesującym pomysłem było wprowadzenie możliwości prezentacji multimedialnych, dzięki czemu miałem możliwość zaprezentowania prac multimedialnych mojej Katedry Sztuki UTH Radom oraz poznać warsztat projektowy



Aleksander Józef Olszewski, cykl 3×3 *Morfoizm*, tech. 3D, 30×30 cm, 2021. Źródło: A.J. Olszewski
Aleksander Józef Olszewski, series 3×3 *Morfoizm*, tech. 3D, 30×30 cm, 2021. Source: A.J. Olszewski

Grzegorza Balińskiego z ASP Kraków i premierę etudy komputerowej z grafiką „drabina” Jacka Gaja w reżyserii Krzysztofa Kiwerskiego. Możliwość obejrzenia wybranych pozycji zbiorów filmowych Cezarego Dzięcielskiego oraz skorzystania z jego wiedzy i doświadczenia w zakresie sprzętowo-programowym było doświadczeniem godnym tego utrwalenia. Pasja, którą dostrzegłem wśród uczestników warsztatów, np. Eulalii Złotnickiej, Jerzego Mazusia w realizacji zamysłów twórczych i ich zaangażowanie w poznawaniu technologii i techniki programów, była zdumiewająca. Większość prac, które miałem okazję tu poznać, wykorzystują do budowania formy artystycznej, techniki kolażu komputerowego i mieszczą się w szeroko rozumianym nurcie sztuki metaforycznej. Moja koncepcja raczej odbiegała od literackiego aspektu i dążyła do minimalistycznego ujęcia treści. Wśród wielu tematów, o których dyskutowaliśmy, pojawił się problem matrycy graficznej, której brak w grafice cyfrowej, w mniemaniu ortodoksyjnych warsztatowców, czyni ją ułomną. Poniżej przytoczę kilka myśli i uwag na ten temat, które mogą być przyczynkiem do jakiejś szerszej dyskusji w środowisku grafików. Moje zainteresowanie grafiką cyfrową, a raczej wykorzystaniem komputera w sztuce użytkowej, miało miejsce w na początku lat 80. XX wieku, kiedy byłem promotorem pracy dyplomowej z wzornictwa. Wiedziałem, co chcę uzyskać w tej pracy, student zaś dzięki znajomości języka programowania mógł zrealizować ów projekt. Praca została zapisana na 5-calowej dyskietce i jak na ówczesną wiedzę była interesującą próbą opisaną i rozwiązaniem językiem algorytmu problemu projektowego. Kiedy po latach odszukałem tę pracę, chcąc ją komuś zaprezentować, okazało się, że nie jestem w stanie ze względów technicznych dyskietki „otworzyć”, bo nie ten system, bo nie ta stacja, nie ta dyskietka itd. czyli **starzenie sprzętu**, programu itp. i to pierwszy problem w sztuce cyfrowej, na który pragnę zwrócić uwagę.

Pierwszy komputer kupiłem na początku lat 90. XX wieku, a wraz z nim igłową drukarkę kolorową oraz kamerę cyfrową i ręczny skaner. Z takim to wyposażeniem rozpocząłem pasjonujące mnie do dzisiaj zmagania ze światem sztuki cyfrowej. Najistotniejszym dla mnie elementem pracy twórczej jest szybka możliwość weryfikowania pomysłu, idei. Żadne ze znanych mi mediów tej możliwości nie dają. W technice cyfrowej szukam takiej formy plastycznej, która nie **imitowałaby technik tradycyjnych** i to jest trzeci problem. Istotnym jest więc, by nie naśladować i powielać, a szukać cech, które są możliwe do uzyskania w technice cyfrowej. Czwartym i może kluczowym problemem ludzi, zajmujących się grafiką, jest **matryca**. Problem ten, o czym wspominałem powyżej, był przedmiotem wymiany poglądów z uczestnikami warsztatów w Soczewce między innymi Adamem Romaniukiem, Waldemarem Węgrzynem, Dariuszem Gajewskim z Katowic, co skutkowało zaproszeniem do udziału w konferencji, poświęconej sztuce graficznej i cyfrowej w Katowickiej ASP. I tu miałem okazję wysłuchać i zapoznać się z interesującym wykładem, który wygłosił Grzegorz Banaszekiewicz, który między innymi sformułował następujący pogląd:

Matryca, już choćby ze względu na etymologię tego słowa (łac. matrix) zasługująca na umieszczenie w centrum procesu graficznego, zawiera, jednoczy w tym procesie oba komplementarne byty graficzne, trafnie rozpoznane i scharakteryzowane przez Dorotę Folgę-Januszewską: zamysł, ideę twórcy i odzwierciedlenie tej idei w wybranym przez artystę medium. Matryca ma przy tym właściwości i swego rodzaju potencjał, pozwalający na jej odwzorowanie w innym procesie niż ten, który ją uprzednio ukształtował. Warto przy tym zauważyć, że matryca, w szerokim znaczeniu tego pojęcia, powstać i istnieć może niezależnie od woli i udziału człowieka jako zapis fizycznego procesu lub zjawiska. Zdolność odzwierciedlania, będąca istotą matrycy, zdaje się wynikać wprost z natury świata, z natury zjawisk, które ją, matrycę, uformowały; człowiek jest wyłącznie odkrywcą i użytkownikiem metod wykorzystania tej właściwości matrycy. Sporządzona przez samego artystę lub tylko przez niego wykorzystana matryca graficzna, w zgodzie ze swym potencjałem, wyłania – w procesie, który Janusz

Kaczorowski nazwał matrycowaniem, po odpowiednim czasie i niezbędnych zabiegach technicznych - ów „drugi byt” grafiki, obraz, obiekt, będący bezpośrednim śladem bytu poprzedniego, stanowiącego źródło i warunek konieczny finalnej postaci grafiki [1, s. 20].

Jeśli zgodzimy się z poglądami wyżej zaprezentowanymi, to jeden z głównych problemów **matrycy**, jej materialności, nie będzie stanowił problemu, z czym zgadzam się od dawna. Myślę jednak, że jeden z aspektów matrycy został mało uwypuklony. Jest on związany z istotną cechą każdej matrycy, którą jest „pamięć”, „algorytm” i jej imitacja w postaci „twardego dysku”. W materialności pamięci matrycy klasycznej można dostrzec protoplastę twardego dysku.

W roku 1998 w skrypcie uczelnianym napisałem:

Obserwując środowisko np.: grafików, można zauważyć podział na tych co wykorzystują komputery i oprogramowanie w swojej pracy oraz tych, którym trudno jest przestawić się z tradycyjnych technik na nowe. Ta część należy do krytyków tej techniki. Trzeba w tym miejscu powiedzieć, że technika ta niesie cały szereg problemów, nad którymi trzeba się zastanowić. Tak naprawdę trudno powiedzieć, jaką cechą indywidualną ma praca realizowana przez komputer. Trudność bierze się z stąd, iż komputer i jego oprogramowanie ma duże możliwości, nazwijmy je naśladowcze lub imitacyjne. Powoduje to brak wydzielenia obszaru takiego działania graficznego, który byłby tylko właściwy dla grafiki cyfrowej, tak jak jest z linorytem, drzeworytem czy technikami metalowymi. Sądzę, iż jest to sprawa, która się aktualnie tworzy i powstaje. Można postawić następujące pytania:

- co jest rysunkiem komputerowym?
- co jest grafiką komputerową?
- co jest malarstwem lub kolorową grafiką komputerową?
- co jest realizacją, rzeźbą 3D?

*Najłatwiej odpowiedzieć na te pytania z punktu widzenia technologicznego. I tak: rysunek to ślad narzędzia istniejący w **jednym egzemplarzu**. By mówić, iż rysunek komputerowy jest rysunkiem, malarstwem, należy zniszczyć jego zapis w pamięci komputera; wówczas te wydruki funkcjonują w jednym egzemplarzu, co jest właściwością osobniczą rysunku i malarstwa (**unikatowość**). W przypadku pozostałych druków istnieje możliwość określenia nakładów, np.: grafiki komputerowej i dopiero zniszczenia lub zarchiwizowania zapisu komputerowego.*

Pisząc wówczas o grafice komputerowej, użyłem pojęcia zapisu i pamięci komputerowej, która w istocie stanowi tę wirtualną matrycę grafiki cyfrowej, ale jest również stanem pamięci. Cytowany Grzegorz Banaszkiewicz przytacza definicję matrycy, z którą spotkał się w Katowicach:

Matryca wirtualna, określenie, które usłyszałem po raz pierwszy od praktykujących druk cyfrowy grafików, profesorów ASP w Katowicach, a zwłaszcza prof. Adama Romaniuka, będące ekwiwalentem używanych również określeń matryca cyfrowa bądź matryca elektroniczna - uważam z tych trzech za najtrafniejsze, gdyż podkreśla ono jej niematerialny, niefizyczny byt, bez przesądzania o technologii, w jakiej matryca ta jest czy może zostać zrealizowana [1, s. 18].

I jeszcze jeden cytat, pochodzący z książki Piotra Zawojskiego: *Elektroniczne obrazowości. Międzysztuką a technologią: obraz cyfrowy jest obrazem zredukowanym do matrycy cyfrowej [...], nie ma potrzeby odnoszenia się do jakiegoś modelu lub realnego przedmiotu [3, s. 17].*

Myślę, że jest to przyczynek do dalszego ustalania pojęcia matrycy i autora.

Można w tym miejscu sprawę matrycy zamknąć. Ale na tejże konferencji spotkałem się z poglądem młodego człowieka, który kwestionował byt materialny grafiki cyfrowej /papier/, uważając, iż żadnego znaczenia dla niej to fizyczne materialne środowisko nie ma. Stwierdzeniem tym uruchomił od nowa dość istotny problem materialności **grafiki cyfrowej**, a może to już problem sztuki cyfrowej, której problemy określają inne granice i horyzonty. Prowadząc pracownie działań multimedialnych o dość rozległym obszarze poszukiwań, zaliczam studentom: zapis cyfrowy w formie **ekranowej**. Interesuje mnie treść i forma wypowiedzi, archiwizację prowadzę na płytach CD ROM, aktualnie w chmurze. Problemy te wykraczają już poza tradycyjne pojmowanie grafiki i nawet tak trafnie sformułowane pojęcie matrycy (Romaniuk, Węgrzyn, Banaszkiewicz, Folga-Januszewska), kluczowe dla grafików, jest otwarte w obszarze sztuki cyfrowej. Myślę, że bardzo dobrze się stało, że środowisko twórców posługujących się technologią cyfrową zdecydowało się na określenie swojej twórczości mianem **grafika cyfrowa**. Grafika komputerowa to termin służący do określenia pracy projektowej, inżyniera informatyka, który dostarcza nam specyficznego produktu, jakim jest program komputerowy, który wraz z maszyną, zwaną komputerem, tworzy środowisko do twórczej pracy na terenie sztuki cyfrowej /multimedia/, która jest pojęciem szerszym niż grafika cyfrowa.

Techniki graficzne i związane z nimi matryce, o czym warto przypomnieć, w chwili swych narodzin przeznaczone były do pełnienia czysto użytkowej funkcji, funkcji powielającej informację. W celu zwielokrotnienia nakładu wynaleziono druk i różne formy przekazu obrazu. Wszystkie te wynalazki miały dotrzeć do jak największej liczby odbiorców obrazu.

Różne rodzaje techniki druku, osiągnąwszy swój szczyt technologiczny, były wypierane przez nowy wynalazek, same zaś z czasem przechodziły w obszar sztuki jako druki unikatowe lub niskonakładowe, tracąc swą pierwotną, czysto użytkową funkcję. Myślę, że podobnie będzie z komputerem /druk cyfrowy płaski i 3D/, który zrewolucjonizował drukarstwo, a także proces projektowania różnych dziedzin życia.

Będą i tacy, którzy za istotną wartość uznają prace ręczne, ale i w tym przypadku należy zwrócić uwagę na fakt, iż techniki plastyczne, ślad ołówka, pędzla, płyta graficzna, są pośrednim śladem dłoni. Sumując, myślę, że jest to kwestia uporządkowania problemów raczej techniczno-technologicznych i zwyczajowych niż artystycznych. W sztuce trzeba mieć pomysł, ideę, a w jaki sposób to zrealizujemy, to sprawa następna. Sądzę, że obecnie sztuka cyfrowa szuka swojego indywidualnego rysu. Technologia ta musi ustalić właściwą dla siebie cechę, w żadnym wypadku nie może naśladować czy imitować tradycyjnej techniki, ona musi się od nich różnić i uwolnić; to w przyszłości zadecyduje o jej roli w sztuce. I ostatni cytat z pracy Piotra Zawojskiego w sposób trafny podkreśla rolę tego wynalazku:

[...] jeśli komputer, jak chce Dawid J. Bolter [1990], jest technologią definiującą wiek XX, a więc w zasadniczy sposób określającą obraz, kształt i dynamikę naszego stulecia, to nie sposób nie korzystać z niego w procesie kreacji artystycznej [2, s. 120].

Właśnie mija 60 lat od wynalezienia pierwszego komputera.

W tym miejscu chciałbym przedstawić swoje doświadczenia związane z wykorzystaniem techniki cyfrowej w realizacji moich działań twórczych. W okresie 1994-2005 zrealizowałem cykl prac malarskich, rysunkowych i graficznych w technice cyfrowej, inspirowanych między innymi przestrzenią, jej względnością zapisaną w 0-1 kodzie. Świat linii, utworzonych z ciągu punktów, mających kształt kwadratu, rozpoczął

kompozycyjną przycięciem z moją wyobraźnią. Punkty te, ich linearne zbiory, w różnych konfiguracjach, są postawą budowanego przeze mnie obrazu. Większość moich kompozycji ma kształt kwadratu lub jego multiplikacji, występujące wewnątrz obrazu podziały mają źródło w podziale płaszczyzny na "n" kwadratów. Końcowy wynik obrazu jest więc efektem intuicji oraz tego wewnętrznego strukturalnego podziału. Kwadrat przykleił się do mnie w sposób do końca niewytłumaczalny, mimo moich prób racjonalizowania tej sytuacji. Przykładem tego jest cykl **3x3 Względność**, nad którym pracowałem wiele, lub **SLH** /samochodowa linia horyzontu/, odnoszący się do interpretacji graficznych czasu oraz przestrzeni obserwowanej w czasie jazdy samochodem. W tytule prace są określane numerem własnym, miejscem trasy, kraju, miejscowości, numerem fotografii cyfrowej, datą. Poprzez takie opisywanie, rejestrowanie, odnoszę się w fizyczny sposób do realnej przestrzeni, w której osobiście byłem. Bywa też w tych pracach przestrzeń moja własna, wymyślona, prywatna, metaforyczna, która nie zawsze odnosi się do świata realnego, poznawanego przy pomocy zmysłów. Akt twórczy, realizowany przy pomocy technologii cyfrowej, dostarcza mi podobnych emocji, jak to ma miejsce w technikach klasycznych. Wszystkie moje prace w większym lub mniejszym stopniu są realizowane językiem geometrii. Wydawać by się mogło, że język ten wyczerpał swoje możliwości, a jednak okazuje się, że można wciąż odkrywać jego nowe sensory, a komputer jest tu wyjątkowo przydatny.

Grafika cyfrowa, rysunek cyfrowy, malarstwo cyfrowe, rzeźba cyfrowa, dizajn ciągle walczą o miejsce w obszarze technik klasycznych, ale również w programach dydaktycznych. W moim zaś przekonaniu istotniejszą kwestią jest myśl, a sprawą wtórną, co zostawia ślad linii, plamy, palec na piasku, skale, ślad węgla, grafitu, kredki, tuszu itd. Obraz, rysunek nawet wykonany techniką komputerową, jeśli istnieje w jednym egzemplarzu, jest nim. Grafika cyfrowa określana jest przez nakład i w tym przypadku nie widzę żadnego problemu. Ostatnie moje prace realizowane są na siatce 3x3, struktura ich to kompozycje płaskie i przestrzenne. Określam je *Opusami* z podaniem czasu powstania np.: Tekst Nr 090420221237. Jestem bardzo bliski intelektualnym rozważaniom Wandy Gołkowskiej oraz jej kontynuatorki Moniki Aleksandrowicz w jej morfoistycznej działalności.

Nowe osiągnięcia, dotyczące sprzętu komputerowego i oprogramowania, powodują coraz większą liczbę możliwych zastosowań. Z techniki komputerowej korzysta wiele dziedzin życia gospodarczego, społecznego, kulturalnego. Trudno wskazać profesję czy obszar życia społecznego, gdzie nie mógłby być stosowany komputer. Do tej pory projektowanie było traktowane jako osobista, twórcza praca. Okazuje się jednak często, że w gruncie rzeczy wpisuje się ona w kolejne udoskonalenia jakiejś „formy bazowej” algorytmu czy formy w ogóle. I tu okazuje się, że komputer jest nie do zastąpienia. Obraz ekranowy jest nośnikiem i zarazem medium, przekazywania informacji, a współczesny sprzęt komputerowy daje duże możliwości wykorzystania tego środka.

Myszę, że każda epoka, poprzez kolejne odkrycia nieznanymi dotychczas mediów, poszerzała zakres możliwości technicznych, służących twórczej wypowiedzi. W tych kategoriach również traktuję moją współpracę z komputerem i jego oprogramowaniem.

Recent advances in computer hardware and software result in an increasing number of possible applications. Computer technology is used in many areas of economic, social and cultural life. It is difficult to indicate a profession or area of social life where a computer could not be used. Until now, design has been treated as personal, creative work. It often turns out, however, that it is essentially based on a further refinement of some "base form" of an algorithm or form in general. And here it turns out that the computer is irreplaceable. Screen image is both a medium and a medium for transmitting information, and modern computer equipment offers great opportunities to use this means.

Keywords: algorithm, analysis, digital printing, permutation

Algorithm vs. technology

— Aleksander Józef Olszewski

Kazimierz Pułaski University of Technology and Humanities in Radom

a.olszewski2@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-8164-1488>

In early April 2022, I received an invitation from Dr. Monika Aleksandrowicz of the Academy of Fine Arts in Wrocław to participate in the conference INTERACTION AND CREATION. As I read in the invitation, one of the themes and elements of the conference will be 3D digital technology [4].

The term digital technology evoked a sequence of events from years ago. I'm thinking here of the Digital Art Workshop that took place near Płock in 2005. Reviewing the then text, which I wrote after the workshop, I realized that it has not lost anything of its relevance and needs to be MODIFIED. This is what I will try to do by adding transformations. In 2005 I decided to take part in the workshop because of the September date, lack of classes at the university and willingness to get to know Płock as well as interesting artists dealing with digital graphics, e.g. Jan Pamuła - an outstanding precursor of this art in Poland. Looking from a certain perspective at the digital workshops organized by Jerzy Mazuś and Bożena Śliwińska, it is difficult to overestimate their culture-forming role in the development and integration of the circles creating and using digital techniques and technology. It is thanks to the publications of Galeria Płocka that I was able to learn various views on digital art. I identify with many of them and have doubts about some of them. I was very surprised to find Jerzy Mazuś, an excellent graphic artist, who saw these works as a new form of expression, involved in digital graphics. One should ask at this point, in the year 2022, what are you doing digitally? I have no contact with him, but we send Christmas cards. A very interesting idea was to introduce the possibility of multimedia presentations, so I had the opportunity to present multimedia works of my Faculty of Art UTH Radom and learn about the design workshop of Grzegorz Baliński from the Academy of Fine Arts in Cracow and the premiere of the computer etude based on the graphics "ladder" by Jacek Gaia, directed by Krzysztof Kiwerski. The opportunity to see selected items from Cezary Dzięcielski's film collection and to benefit from his knowledge and experience in the field of hardware and software was an experience worth recording. The passion that

I saw among the participants of the workshops, e.g. Eulalia Złotnicka, Jerzy Mazuś in the realisation of their creative ideas and their obstinacy in learning about the technology and technique of the programmes, was amazing. Most of the works that I had the opportunity to meet here, use the technique of computer collage to build an artistic form and fall within the broadly understood current of metaphorical art. My conception rather departed from the literary aspect and strived for a minimalist approach to the content. Among the many topics we discussed was the problem of the graphic matrix, whose absence in digital graphics, in the opinion of orthodox graphic designers, makes it flawed. Below I will quote some thoughts and remarks on this subject, which may be a contribution to a broader discussion on the subject in the graphic arts community. My personal interest in digital graphics, or rather in the use of computers in applied arts, took place at the beginning of the 1980s, when I was a supervisor of a diploma project in design. I knew what I wanted to achieve in this work, and the student, thanks to his knowledge of programming language, was able to realize this project. The work was written on a 5 inch floppy disk and, as far as my knowledge at the time was concerned, it was an interesting attempt to describe and solve a design problem using the language of an algorithm. When years later I found this work and wanted to present it to someone, it turned out that I was not able to "open" the floppy disk due to technical reasons because it's not the same system, because it's not the same station, not the same floppy disk, etc. that is the aging of hardware, software, etc. and this is the first problem in digital art that I would like to point out.

I bought my first computer in the early 90s, and with it a color dot matrix printer and a digital camera and a handheld scanner. With this equipment I began my passionate struggle with the world of digital art. The most important element of creative work for me is the quick possibility of verifying an idea. None of the media known to me provide this opportunity. In digital technology I am looking for an art form that does not imitate traditional techniques, and this is the third problem. So it is important not to imitate and duplicate, but to look for features that are possible to achieve in digital technology. The fourth and perhaps the key problem for people working with graphics is the matrix. This problem, which I mentioned above, was the subject of an exchange of views with the participants of the workshops in Soczewko, among others Adam Romaniuk, Waldemar Węgrzyn and Dariusz Gajewski from Katowice, which resulted in an invitation to take part in a conference devoted to graphic and digital art at the Academy of Fine Arts in Katowice. And here I had the opportunity to listen to and get acquainted with an interesting lecture given by Grzegorz Banaszkiwicz. He formulated the following view, and I quote: "The matrix, if only because of the etymology of the word (Latin: matrix), which deserves to be placed in the center of the graphic process, contains and unites in this process both complementary graphic entities, aptly recognized and characterized by Dorota Folga-Januszewska: the artist's idea and its reflection in the medium chosen by the artist. At the same time the matrix possesses properties and a kind of potential that allow it to be reproduced in a different process than the one that previously shaped it. It is worth noticing that a matrix, in the broad sense of the term, may come into being and exist independently of human will and participation, as a record of a physical process or phenomenon. The ability to reflect, which is the essence of the matrix, seems to result directly from the nature of the world, from the nature of the phenomena that formed it, the matrix; man is only the discoverer and user of methods of using this property of the matrix.²³ The graphic matrix made by the artist himself or used only by him, in accordance with its potential, emerges, in the process which Janusz Kaczorowski called matriculating²⁴, after appropriate time and necessary technical operations, this "second entity" of graphic art, an image, an object, which is a direct trace of the previous entity, constituting the source and necessary condition of the final form of graphic art." [1, p. 20]

If we agree with the views presented above then one of the main problems of the matrix, its materiality, will not be a problem, which I personally have been agreeing with for a long time. However, I think that one aspect of the matrix has not been emphasized enough. It is related to an essential feature of any matrix, which is the "memory", the "algorithm" and its imitation in the form of the "hard disk".

In 1998, in a college script, I wrote, quote: "Observing the environment, for example: graphic designers, you can see the division into those who use computers and software in their work and those who find it difficult to switch from traditional techniques to the new ones. This part belongs to the critics of this technique. It has to be said here that this technique brings a whole series of problems that need to be considered. In fact, it is difficult at this point to say what individual characteristic the work realized by the computer has. The difficulty comes from the fact that the computer and its software have great possibilities, let's call them imitative. As a result, there is no separate area of graphic activity that would be specific only to digital graphics, as is the case with linocut, woodcut or metal techniques. I think that this is a matter which is currently being created and is being formed. The following questions can be posed:

- *What is computer drawing?*
- *What is computer graphics?*
- *What is painting or color computer graphics?*
- *What is realization, 3D sculpture?*

The easiest way to answer these questions is from a technological point of view. And so: a drawing is a trace of a tool existing in a single copy.

To say that a computer drawing is a drawing, painting, you need to destroy its record in the computer's memory; then, these prints function as a single copy, which is the peculiarity of drawing and painting (uniqueness). In the case of other printouts there is a possibility of determining the edition of e.g. computer graphics and only destroying or archiving the computer record". [1, p. 18]

Writing about computer graphics I used the notion of recording and computer memory, which in fact constitutes the virtual matrix of digital graphics, but is also a state of memory. The quoted Grzegorz Banaszkiwicz quotes the definition of the matrix which he met in Katowice...". I consider the term "virtual matrix" (a term I heard for the first time from graphic artists practicing digital printing, professors of the Academy of Fine Arts in Katowice, and especially from Prof. Adam Romaniuk), equivalent to the terms digital matrix or electronic matrix, to be the most accurate of the three, because it emphasizes its immaterial, non-physical existence, without prejudging the technology in which the matrix is or can be realized.

And one more quote coming from Piotr Zawojński's book "Electronic Images of Education Between Art and Technology". "a digital image is an image reduced to a digital matrix [...] there is no need to refer to some model or real object" [3, p. 17] I think this is a contribution to further establish the notion of matrix and author.

The matrix issue can be closed at this point. However, at the same conference I met with the opinion of a young man who questioned the material existence of digital printmaking, /paper/ believing that this physical material environment has no significance for it. With this statement he restarted quite an important problem of materiality of Digital The matter of the matrix can be closed at this point. However, at the same conference I met with the opinion of a young man who questioned the material existence of digital printmaking, /paper/ believing that this physical material

environment has no significance for it. With this statement he reopened the quite significant problem of the materiality of digital graphics, or maybe it's already a problem of digital art, the problems of which are defined by different boundaries and horizons. Leading the multimedia action studios of quite a wide area of exploration I give students credit based on digital recording in the form of "screen". I am interested in the content and form of expression, I archive them on CD ROM discs, currently in the cloud. These problems go beyond the traditional understanding of graphic art and even the notion of a matrix, so aptly formulated (Romaniuk, Węgrzyn, Banaszkiewicz, Folga-Januszewska), crucial for graphic artists, is open in the field of digital art. I think it is very good that the community of artists using digital technology decided to call their work digital graphics. Computer graphics is a term used to describe the work of a designer, computer engineer, who provides us with a specific product, which is a computer program, which together with a machine called a computer creates an environment for creative work in the field of digital art /multimedia/, which is a broader concept than digital graphics.

It is worth remembering that in the moment of their birth graphic techniques and the matrices connected with them were intended to perform a purely utilitarian function, the function of reproducing information. Printing and various forms of image transmission were invented in order to multiply the number of copies. All these inventions were aimed at reaching the largest possible number of recipients of an image.

Various types of printing technology, having reached their technological peak, were superseded by a new invention, and in time they became part of art as unique prints or low-volume prints, losing their original, purely utilitarian function.

I think that the same will happen with the computer /digital flatbed and 3D printing/, which revolutionized printing, as well as the process of designing various areas of life.

There will also be those for whom manual work is an important value, but in this case, too, it should be noted that artistic techniques, the trace of a pencil, brush, graphic plate, are an indirect trace of the hand. Summing up these considerations I think that it is a matter of organizing technical-technological and customary problems rather than artistic ones. In art you need to have an idea, a concept, and how to realize it is another matter. I think that at the moment digital art is looking for its individual character. This technology has to establish its own characteristic, it cannot imitate or mimic traditional techniques, it has to differ from them and free itself, this will determine its role in art in the future. And the last quotation from the work of Piotr Zawojski aptly highlights the role of this invention: "if the computer, as David J. Bolter [1990] wants, is the defining technology of the 20th century, and therefore fundamentally determines the image, shape and dynamics of our century, it is impossible not to use it in the process of artistic creation. [2, p. 120]

At this point I would like to present my personal experience with the use of digital technology in the realization of my creative activities.

Between 1994 and 2005 I realized a series of painting, drawing and graphic works in digital technique, inspired among others by space, its relativity written in 0-1 code. The world of lines, created from a sequence of square-shaped points, began a compositional adventure with my imagination. These points, their linear sets, in various configurations, are the basis of the image I build. Most of my compositions have the shape of a square or its multiplication, the divisions occurring inside the picture have their source in the division of the plane into "n" squares. The final result of the painting is therefore the result of intuition and this internal structural division. The square sticks to me in a way that is completely inexplicable, despite

my attempts to rationalize the situation. An example of this is the 3x3 Relativity series I've been working on a lot or SLH/car horizon line/ referring to the graphic interpretations of time and space observed while driving a car. In the title the works are described by their own number, the place of the route, the country, the city, the number of a digital photograph, the date. Through such description, registration, I refer in a physical way to the real space I have personally been in. In these works there is also my own, invented, private, metaphorical space, which does not always relate to the real world cognized through the senses. The creative act carried out with the help of technology.

Between 1994 and 2005 I realized a series of painting, drawing and graphic works in digital technique, inspired among others by space, its relativity written in 0-1 code. The world of lines, created from a sequence of square-shaped points, began a compositional adventure with my imagination. These points, their linear sets, in various configurations, are the basis of the image I build. Most of my compositions have the shape of a square or its multiplication, the divisions occurring inside the picture have their source in the division of the plane into "n" squares. The final result of the painting is therefore the result of intuition and this internal structural division. The square sticks to me in a way that is completely inexplicable, despite my attempts to rationalize the situation. An example of this is the 3x3 Relativity series I've been working on a lot or SLH/car horizon line/ referring to the graphic interpretations of time and space observed while driving a car. In the title the works are described by their own number, the place of the route, the country, the city, the number of a digital photograph, the date. Through such description, registration, I refer in a physical way to the real space I have personally been in. In these works there is also my own, invented, private, metaphorical space, which does not always refer to the real world cognized through the senses. The creative act carried out by means of digital technology provides me with similar emotions as in classical techniques.

All my works are realized, to a greater or lesser degree, in the language of geometry. It might seem that this language has exhausted its possibilities, but it turns out that it is still possible to discover its new meanings, and the computer is exceptionally useful here.

Digital graphics, digital drawing, digital painting, digital sculpture, and digital sculpture continue to fight for a place in the realm of classical techniques as well as in didactic programs. In my opinion thought is more important than what leaves a trace of a line, stain, finger in the sand, rock, trace of coal, graphite, crayon, ink, etc. Image, drawing even made by computer technique if it exists in a single copy is it. Digital graphics is determined by the edition and in this case I do not see any problem. My last works are realized on the basis of the 3x3 grid, their structure is flat and spatial compositions. I call them Opuses, giving the time of creation, e.g.: Text No. 090420221237. I am very close to intellectual deliberations of Wanda Gołkowska and her continuator Monika Aleksandrowicz in her morphoistic activity.

Recent developments in computer hardware and software have resulted in an increasing number of possible applications. Many areas of economic, social and cultural life benefit from computer technology. It is difficult to point out a profession or an area of social life where a computer could not be used. Until now, designing has been treated as a personal, creative work. However, it often turns out that in fact it is based on another improvement of some "base form" of an algorithm or a form in general. And here it turns out that the computer is irreplaceable. The screen image is a carrier, and at the same time a medium, for conveying information, and modern computer hardware offers great opportunities to use this medium.

I think that each epoch, through successive discoveries of hitherto unknown media, has expanded the range of technical possibilities for creative expression. In these categories I also treat my cooperation with the computer and its software.

Bibliografia **Bibliography**

- [1] Banaszekiewicz G., *Pojęcia grafiki II. Matryca. Koncepcja współczesnej systematyki procesów graficznych* [w:] „Zeszyty Artystyczne”, nr 20, BGS 1999-2009.
- [2] Bolter D.J., *Człowiek Turinga. Kultura Zachodu w wieku komputera*, przeł. T. Goban-Klas, Warszawa 1990; cyt. za: P. Zawojski.
- [3] [Couchot 1985; cyt. za Raulet 1994] cyt. Piotr Zawojski, [w:] *Elektroniczne obrazowości. Między sztuką a technologią*, 2000;
- [4] Olszewski A.J., *Matryca soczewki?*, [w:] *Arteria*, Rocznik Katedry Sztuki Wydziału Nauczycielskiego Politechniki Radomskiej, nr 4, Radom 2006.



Aleksander Józef Olszewski, cykl 3×3 *Morfoizm*, tech. 3D, 30×30 cm, 2021. Źródło: A.J. Olszewski
Aleksander Józef Olszewski, series 3×3 *Morfoizm*, tech. 3D, 30×30 cm, 2021. Source: A.J. Olszewski



1. Surowy biały wydruk, wykonany technologią SLS, oraz wydruk po ręcznym barwieniu modelu. Źródło: J. Trzyna
A raw white printout, made with SLS technology and a printout after hand-dyeing the model. Source: J. Trzyna

Rzeczywiste nowocześniejszych technik przyrostowych AM (ang. Additive Manufacturing), upowszechnienie narzędzi do modelowania 3D oraz obniżenie kosztów materiałów umożliwiły dostęp do zaawansowanych narzędzi wytwarzania szerokiego grona odbiorców. Połączenie różnych technik wytwarzania daje możliwość uzyskania nowych efektów – form artystycznych. W pracy przedstawiono przykłady zastosowania wybranych technik wytwarzania, łączenia różnych metod w celu uzyskania nowatorskich środków ekspresji artystycznej. Zostały również opisane wybrane uwarunkowania technologiczne wytwarzania modeli wieloobektowych z wykorzystaniem innowacyjnych technik druku 3D. Przedstawiono przykłady możliwości wytwarzania modeli wielomateriałowych, wielokolorowych w jednym procesie technologicznym.

Słowa kluczowe: druk 3D, modele wieloobektowe, techniki przyrostowe, modele wielomateriałowe, szybkie prototypowanie, RP/AM, techniki wytwarzania, modelowanie 3D, rzeźbienie 3D

Druk 3D w sztuce - wybrane aspekty modelowania wieloobektowego

- Izabela Miechowicz
- Sławomir Miechowicz
- Jakub Trzyna
- Wiktoria Wojnarowska


Izabela Miechowicz, Wydział Grafiki, Akademia Sztuk Pięknych w Gdańsku

Sławomir Miechowicz, Katedra Konstrukcji Maszyn, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska

(S. Miechowicz)  <https://orcid.org/0000-0001-5135-0121>

Jakub Trzyna, Dolnośląski Park Innowacji i Nauki S.A.

Wiktoria Wojnarowska, Szkoła Doktorska Nauk Inżynierjno-Technicznych, Politechnika Rzeszowska

(W. Wojnarowska)  <https://orcid.org/0000-0001-7588-5294>

Wprowadzenie

W kilku ostatnich latach można zauważyć wzmożone zainteresowanie twórców dzieł artystycznych nowymi technologiami. Wielu twórców tworzy swoje prace artystyczne przy użyciu technologii cyfrowej, w tym przy pomocy nowoczesnych technik projektowania CAD (ang. CAD – Computer Aided Design) oraz narzędzi do modelowania 3D (np. ZBrush [54], Autodesk 3DS Max [19], Blender [5]). Przy pomocy takich narzędzi artyści mają możliwość zaprojektowania cyfrowych modeli 3D, które są matematyczną reprezentacją obiektu trójwymiarowego. Swoje prace ze świata wirtualnego do rzeczywistości mogą przenieść przy pomocy nowoczesnych technik wytwarzania, takich jak druk 3D. Jest to technika przyrostowa, która na bazie cyfrowych modeli 3D wykonuje przedmiot. Techniki przyrostowe stanowią nowe medium ekspresji artystycznej. Wielu twórców w swoich pracach eksperymentuje, łącząc różne techniki wytwarzania. Istnieją różne rodzaje druku 3D. Do najczęściej stosowanych przez twórców technik przyrostowych

można zaliczyć: osadzanie stopionego materiału (FDM, ang. Fused Deposition Modelling), czyli druk z termoplastów, selektywne spiekanie laserowe (SLS, ang. Selective Laser Sintering), czyli druk ze sproszkowanych tworzyw sztucznych, stereolitografię (SLA, ang. Stereolithography), czyli druk z żywicy światłoutwardzalnej, selektywne przetapianie laserowe proszków metalowych (DMLS, ang. Direct Metal Laser Sintering), czyli druk ze sproszkowanych metali [23].

W sztuce techniki przyrostowe są wykorzystywane między innymi do wytwarzania form odlewniczych rzeźb i płaskorzeźb. Warto jednak zaznaczyć, że stosowane są również do bezpośredniego wykonywania rzeźb i płaskorzeźb [39]. Proces tworzenia dzieła artystycznego jest realizowany wtedy w przestrzeni wirtualnej, w środowisku modelowania 3D. Do odlewania obiektów 3D stosowane są tradycyjne techniki odlewnicze, takie jak odlewanie próżniowe (VC, ang. Vacuum casting). W przypadku odlewania próżniowego model fizyczny, wykonany wybraną techniką przyrostową, zazwyczaj służy jako matryca do wykonania formy silikonowej [42, s. 713-22, 51]. Jedynie wybrane materiały stosowane w technikach przyrostowych nadają się do wytapiania (metoda materiału traconego). Przykłady zastosowania metody materiału traconego, wykorzystywanej do tego celu, zostały opisane w pracy [30]. Ze względu na niską toksyczność często stosowanym materiałem w tej technice jest PLA (ang. PLA - Polylactic Acid) [23].

Przykłady wykorzystania technik przyrostowych oraz połączenia z innymi metodami wytwarzania można znaleźć w twórczości wielu współczesnych artystów, szczególnie młodego pokolenia. Jednym z przykładów zastosowania nowoczesnych technik projektowania i wytwarzania w sztuce jest projekt Yinyun [3]. Jest to instalacja artystyczna wieloobiektoowa stworzona przez studio Fabcraft Design Lab. Składa się ona z 80. modeli wygenerowanych przy pomocy techniki *generative design*. Ceramiczne formy instalacji zostały wykonane z użyciem porcelany i popiołu lotnego z recyklingu. Natomiast przykładem zastosowania druku 3D do modelowania złożonych struktur wieloobiektowych w twórczości artystycznej jest kinematyczna sukienka zaprojektowana i wykonana przez studio Nervous System [32]. Została ona wykonana przy użyciu technologii SLS. Do jej wykonania wykorzystano nylon. Sukienka złożona jest z płatków, które zostały osadzone na mozaikowym szkielecie. Zastosowanie techniki SLS umożliwiło wykonanie sukienki w jednym kawałku, w jednym procesie technologicznym.

Druk 3D znajduje zastosowanie we wzornictwie przemysłowym, czyli sztuce projektowania przedmiotów otaczających i służących człowiekowi. Przez wiele lat projektowanie na potrzeby wzornictwa przemysłowego odbywało się z zastosowaniem standardowych technik, takich jak szkic, rysunek techniczny i makiety. Jednakże rozwój technik wytwarzania addytywnego sprawił, że nieodzownym elementem projektowania przemysłowego stał się druk 3D [2]. Jednym z przykładów zastosowania nowych technologii przy wykonywaniu przedmiotów otaczających człowieka jest seria Hydrophytes, czyli zbiór roślin wydrukowanych w technologii 4D, które poruszają się w odpowiedzi na ruchy wody, grawitację czy nawet interakcję z człowiekiem. Do wykonania obiektów użyto druku wielomateriałowego, technologią PolyJet. Poszczególne części wydruków różnią się twardością, co umożliwia ruch i interakcję. Projekt został stworzony przez projektantkę wzornictwa przemysłowego Nicole Hone i wykonany przy użyciu urządzenia Connex 3D [21].

Techniki przyrostowe stały się istotnym elementem edukacji przyszłych inżynierów - projektantów wzornictwa przemysłowego. Wiele prototypów projektów inżynierskich powstaje z użyciem druku 3D. Wśród inżynierskich prac dyplomowych wykonanych przez studentów Politechniki Świętokrzyskiej z użyciem druku 3D Adamczak i Graba wymieniają m.in. projekt dwóch naczyń do picia płynów inż. Natalii Kowalskiej, projekt przystanku autobusowego inż. Oliwii Władyszewskiej, czy też projekt mebli wielofunkcyjnych inż. Eweliny Pokrzywińskiej [2].



2. Przykładowe obiekty, wykonane w technologii FDM.
Examples of objects made with FDM technology

2a. Wielokolorowe cyfrowe modele breloków w programie do obsługi drukarki. Źródło: J. Trzyna
Multi-color digital key ring models in the printer software.
Source: J. Trzyna



2b. Dwukolorowe breloczki, wykonane metodą ręcznej zmiany filamentu. Źródło: J. Trzyna
Two-color keychains made with manual filament change.
Source: J. Trzyna



2c. Dwukolorowy wydruk 3Dbenchy, wykonany dwugłowicową drukarką. Źródło: <https://www.flickr.com/photos/132390309@N03/19853228512>, autor: 3DBenchy, na licencji CC BY 2.0
Two-color 3DBenchy print made with a two-head printer. Photo: <https://www.flickr.com/photos/132390309@N03/19853228512> by 3DBenchy under CC BY 2.0 license



3. Barwienie zanurzeniowe wydruków, wykonanych technologią SLS. Źródło: J. Trzyna
Immersion dyeing of prints made with SLS technology. Source: J. Trzyna



4. Przykłady wydruków, wykonanych technologią MJF: barwionego metodą zanurzeniową (różowy) oraz wykonanego na maszynie HP 580 COLOR. Źródło: J. Trzyna
Examples of prints made with MJF technology: dye dipped (pink) and made on the HP 580 COLOR machine. Source: J. Trzyna

Innym przykładem zastosowania technik przyrostowych w sztuce jest instalacja H.O.R.T.U.S. XL Astaxanthing [12], stworzona przez ecoLogicStudio. Jest to wielkoformatowa struktura 3D, dostosowana do rozwoju życia mikrobiologicznego, która powstała w wyniku analizy raf koralowych. Projekt jest rezultatem badań biologicznych modeli endosymbiozy. Konstrukcja złożono z trójkątnych modułów, w których umieszczono fotosyntetyczne cyjanofity na biożelowym podkładzie. Kolejną dużą instalacją jest "Magic queen" [26], czyli wytworzone metodą druku 3D żywe środowisko. Wydrukowaną strukturę pokryto nasionami i zarodkami grzybów i roślin. Do wykreowania tego niezwykłego środowiska użyto 90. ton lokalnej gleby, umożliwiając biodegradację całości. Założeniem projektu było stworzenie środowiska zdolnego do odbudowy i rozwoju. Instalacja jest sterowana przez system robotyczny, przy udziale sztucznej inteligencji. Do tworzenia instalacji o dużych wymiarach często stosuje się połączenie robotyki oraz druku 3D. Głowice drukujące, zamontowane na ramionach robotycznych, rozszerzają możliwości konstrukcji złożonych z podpór przy trójwymiarowych obiektach struktur organicznych. W takich zastosowaniach mogą być wykorzystywane biokompozyty w formie granulatu wraz z nietoksycznymi hydrożelami, łączącymi strukturę. Struktury takie mogą być wykorzystywane do wykonywania elementów architektury, w zastosowaniach budowlanych [27].

W zależności od parametrów projektu, stosowane są różne techniki druku 3D. Jedną z często stosowanych technologii jest FDM. Zastosował ją m.in. Peter Lang z University of Applied Sciences w Rosenheim. Opracował on rzeźbę z właściwościami absorbującymi dźwięk. Inspiracją dla powstania projektu były gniazda pszczół i pszczeni. Prototyp zeskanowano i wydrukowano z użyciem biopolimeru Tecnar. Lang posługiwał się tylko ekologicznymi środkami, takimi jak pigmenty czy piwo – jako naturalnym klejem [37]. Kolejnym przykładem zastosowania technologii FDM jest projekt australijskiej artystki *Filament Sculptures*, w którym autorka analizuje technologię FDM jako medium sztuki [43].

Przykładem zastosowania technologii SLS w sztuce jest praca *Circle of Life* Mary Visser. Artystka jest jedną z pionierek wykorzystywania AM w działaniach twórczych. Używa wielu narzędzi, takich jak Cheeta3D, Carrara Studio Pro czy 3DS MAX, w zależności od potrzeb [30]. Jej pierwsze eksperymenty z drukiem 3D wynikały z ograniczeń technicznych realizowanego projektu. Wykonanie skomplikowanej, bogatej w detal rzeźby małego formatu metodami tradycyjnymi było niezwykle trudne. Praca "Circle of Life" była niezwykle skomplikowana i niemalże niemożliwa do wykonania z pomocą tradycyjnych technik. Dlatego też do wykonania projektu artystka wybrała technikę SLS. Technika ta umożliwia odwzorowanie delikatnych detali. Tworzenie wielu elementów i łączenie ich w większą kompozycję przez artystkę było łatwiejsze niż w technice tradycyjnej. Visser odnalazła środek ekspresji twórczej, który nie ograniczał jej wizji [48].

Projekt *The Ultraborg Stiffneck* projektanta Vitaly'ego Bulgarova jest natomiast przykładem zastosowania metody material jetting (MJ). Przy pomocy metody MJ powstał bardzo złożony wydruk o wysokiej dokładności odwzorowania detali. Kolorowe wykończenie modelu osiągnięto przez pokrycie specjalną farbą epoksydową, używaną w przemyśle broni palnej [29].

Do drukowania 3D stosowane są różne rodzaje materiałów [38]. W pełni funkcjonalne komponenty przy użyciu technologii druku 3D można uzyskać z metali i ich stopów, ceramiki, kompozytów, polimerów, biomateriałów, materiałów inteligentnych, materiałów do druku żywności czy też materiałów budowlanych [47]. Materiałami dominującymi są plastiki i metale. Jednym z ciekawszych materiałów jest ceramika, z której można drukować m.in. naczynia i rzeźby [56]. Na przykład Olivier van Herpt wykorzystuje zbudowaną przez siebie drukarkę 3D do ceramiki. Maszyna umożliwia druk glinianych naczyń. Artysta wykorzystuje kontekst błędu i zjawiska losowe w druku. Nazywa je zachwycającymi porażkami. Błąd jest ludzkim elementem w technologiach wytwarzania. Van Herpt aspiruje do zawierania w swojej ceramice wyjątkowych, losowych „błędów” [30].

Druk 3D pozwala na uzyskanie w sztuce efektów, których nie dałoby się uzyskać przy pomocy tradycyjnych metod. Przykładem projektu, który pokazuje tę zaletę druku 3D jest kompozycja Josepha Coddingtona [31]. Stanowi ona reinterpretację fragmentu *Lilii wodnych* Claude'a Moneta. Kompozycja składa się z 15. warstw kolorowych wokseli, wykonanych techniką druku 3D. Woksele są rozłożone w całej objętości kompozycji. Skierowanie światła na obiekt daje efekt podobny do światła rozproszonego w stawie. Możliwość operowania światłem zewnętrznym jest efektem, którego Monet nie byłby w stanie uzyskać żadną techniką malarską.

Należy zaznaczyć, że techniki przyrostowe stosowane są nie tylko do projektowania i produkcji zupełnie nowych prac. Stosuje się je również w projektach konserwatorsko-restauratorskich [1, 49], w tym do uzyskiwania kopii antyków [25, 28], ale także na potrzeby ich renowacji [55].

Jednym z istotnych elementów sztuki jest kolor. Prace artystyczne zazwyczaj są wielobarwne, natomiast część technologii druku 3D pozwala na uzyskiwanie wydruków jednokolorowych. W przypadku tych technik wydrukowane elementy wymagają bardziej zaawansowanej obróbki niż tylko usunięcia podpór, w tym malowania [9, 11]. Są również technologie, które pozwalają na uzyskiwanie wydruków o wielu kolorach. Jednakże uzyskanie takich obiektów jest możliwe pod pewnymi warunkami. Niniejsza praca prezentuje możliwości nadawania barw obiektom artystycznym, wykonywanym przy pomocy wybranych technik przyrostowych.

Uwarunkowania technologiczne wytwarzania obiektów artystycznych z zastosowaniem materiałów kolorowych

Technologie przyrostowe dają wiele możliwości przedstawienia cyfrowej formy w fizycznej rzeczywistości. Zastosowanie odpowiedniej technologii przyczynia się do rozwiązania niejednego problemu konstruktora, twórcy, firmy lub instytucji. Problemem może być uzyskanie odpowiednich parametrów wydruku, takich jak np. twardość materiału czy kolor. W tym artykule skoncentrowano się na weryfikacji możliwości nadawania barw wydrukowi 3D w zależności od doboru technologii.

W technikach przyrostowych można wskazać kilka różnych procesów. Procesy AM podzielono na kategorie: wytłaczanie materiału (MEX, ang. material extrusion), fotopolimerizacja (VPP, ang. vat photopolymerization), spajanie w złożu proszkowym (PBF, ang. powder bed fusion), natryskiwanie wiążące (BJT, ang. binder jetting), laminowanie arkuszy (SHL, ang. sheet lamination), natryskiwanie materiału (MJT lub MJ, ang. material jetting) i ukierunkowane osadzanie energii (DED, ang. directed energy deposition) [24].

Wytłaczanie materiału

Do technologii druku 3D, wytłaczających materiał, zalicza się technologia FDM oraz fused filament fabrication (FFF). Są to najpopularniejsze metody druku 3D, polegające na nanoszeniu kolejnych warstw termoplastycznego tworzywa na podłoże [10]. Wynika to ze stosunkowo dobrej jakości druków i w korzystnej cenie w porównaniu do innych technik przyrostowych, takich jak SLS, czy SLA [4].

FDM i FFF kojarzone są głównie z wydrukami jednokolorowymi. O finalnej barwie wydruku 3D decyduje materiał wsadowy. Można założyć, że uzyskanie modelu fizycznego w kolorze niebieskim wymaga zastosowania niebieskiego filamentu (materiał do druku 3D wykorzystywany we wcześniej wymienionych technologiach). Monolityczne wydruki 3D realizowane są w ten sposób (il. 2a).

Jedną z najprostszych metod wielokolorowego wydruku jest ręczne zatrzymanie procesu, zmiana materiału oraz wznowienie procesu [6]. W ten sposób można przejść w sposób binarny na inną barwę (il. 2b). Pewnym rozwinięciem tej metody drukowania wielokolorowych obiektów przy pomocy technologii FDM jest technika zaproponowana

przez Takahashi i in. [45]. Technika *Programmable Filament* nie wymaga żadnych modyfikacji sprzętowych. Polega na drukowaniu przy pomocy filamentu powstałego w wyniku połączenia ze sobą segmentów w różnych kolorach. Ciekawostką na rynku jest tęczy filament [18], który jest wielokolorowy. Korzystanie z takiego materiału daje możliwość wytwarzania obiektów z łagodnymi gradientowymi przejściami kolorystycznymi. Dostępne są również drukarki, które mają dwie głowice (ekstrudery), które umożliwiają druk z dwóch różnych filamentów. W trakcie druku urządzenie automatycznie przełącza się między filamentami, dzięki czemu nie trzeba tego wykonywać ręcznie. Takie drukarki mogą drukować w dwóch różnych kolorach, ale również z różnych materiałów [8]. Uatrakcyjnią to estetykę wykonywanego obiektu (il. 2c).

Problem jednokolorowych wydruków w technologiach FDM oraz FFF dostrzegła firma Prusa. Wyprodukowała Multi Material Upgrade (MMU) [36] – urządzenie, które pozwala drukować przy pomocy maksymalnie pięciu różnych filamentów. Do prawidłowego działania konieczne jest używanie go z dedykowanym oprogramowaniem, które ma możliwość nadawania barw produkowanych wyrobów w fazie przygotowania modelu cyfrowego do druku. Realizacją produkcji założonych barw zajmuje się system MMU. Innym urządzeniem tego typu jest Co Print [7], czyli moduł do drukarek z ekstruderem Bowdena, pozwalający na druk z użyciem do siedmiu filamentów.

Nadawanie barw obiektom, wykonanym przy pomocy technologii FDM/FFF, może odbywać się również już w trakcie obróbki wykończeniowej (ang. post-processing). Wydruki mogą być malowane przy pomocy różnych artykułów malarskich, np. farb akrylowych [22]. W przypadku użycia farb akrylowych, dobra przyczepność farby występuje przy malowaniu obiektów wykonanych z ABS-u. Natomiast w przypadku obiektów z PLA przyczepność farb akrylowych jest stosunkowo niska [4]. W obiektach wytworzonych przy pomocy technologii FDM/FFF ich powierzchnia jest do pewnego stopnia pofałdowana. Wynika to z technologii. Obiekty są tworzone przez nakładanie warstw polimeru [34]. Można nakładać farby na taką powierzchnię, jednak efekt wizualny jest gorszy niż w przypadku nałożenia farb na powierzchnię gładką – zintegrowaną. Dlatego też przed malowaniem wskazane jest wykonanie dodatkowych prac, mających na celu zniwelowanie powierzchni pofałdowanej. Jak wykazała Berg [4], obróbka wydruków przy pomocy ścierania lub rozpuszczalnika (np. acetonu) nie tylko wygładza ich powierzchnię, ale również zwiększa przyczepność farb akrylowych do powierzchni malowanej.

Spajanie w złożu proszkowym

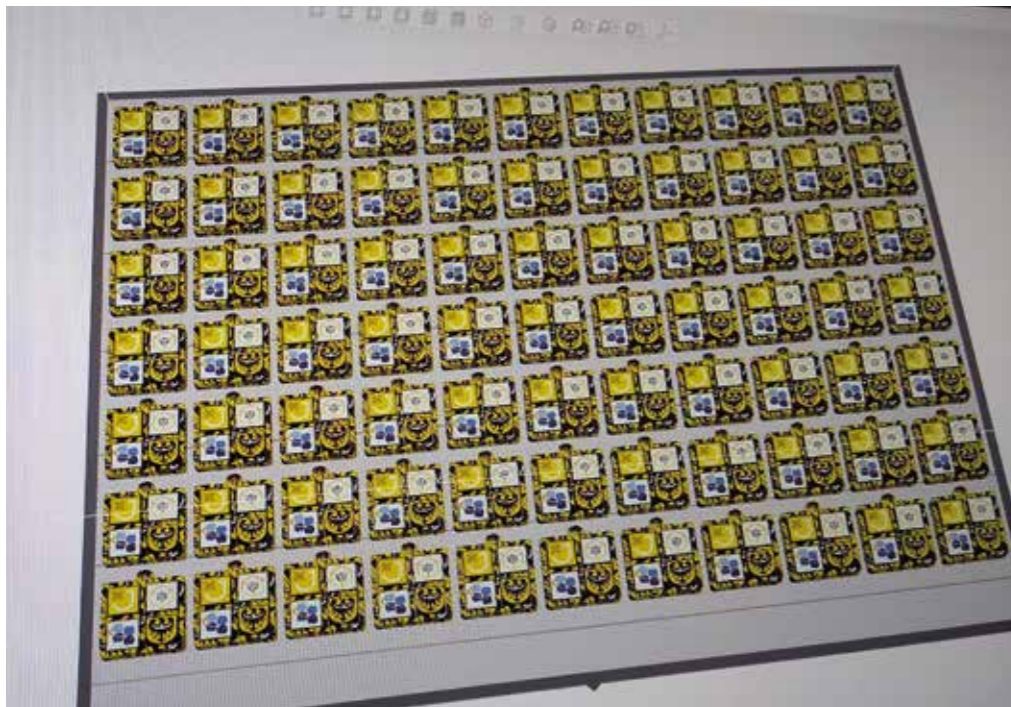
W tej technologii materiałem budulcowym jest proszek, który jest spajany przy pomocy różnych źródeł ciepła. Wśród stosowanych materiałów są metale, ceramika, polimery, kompozyty i hybrydy. Spajanie w złożu proszkowym obejmuje różne techniki, mające różne źródła ciepła: wiązka elektronów (EBM, ang. electron beam melting), spiekanie laserowe (SLS), przetapianie laserowe (DMLS) oraz spiekanie cieplne (SHS, ang. selective heat sintering) [46]. Do metod typu PBF zalicza się również technologię Multi-Jet Fusion (MJF).

Selektywne spiekanie laserowe - SLS

Technologia SLS polega na spiekaniu laserem proszków tworzyw sztucznych. Jest najpopularniejszym przykładem proszkowej technologii druku 3D [10]. Mimo szerokiego spektrum stosowanych materiałów, technologię cechuje wyrób o jednej barwie. W zależności od rodzaju maszyny, stosowanych materiałów wyroby wyprodukowane tą technologią mogą być np.: szare, białe, grafitowe, czarne, żółtawe.

Najprostszym sposobem nadawania barw elementom w technologii SLS jest obróbka końcowa, obejmująca malowanie farbami akrylowymi. Możliwe jest również malowanie natryskowe i nakładanie powłok żywicznych [1].

Technologia SLS reklamowana jest przez producentów jako technologia dedykowana produkcji spersonalizowanej, krótkoseryjnej. Przykładami takich produktów mogą



5a. Technologia PolyJet: Wielokolorowe cyfrowe modele breloków w programie do obsługi drukarki. Źródło: J. Trzyna
PolyJet technology: Multi-color digital key ring models in the printer software. Source: J. Trzyna



5b. Technologia PolyJet: Realizacja kolorowych wydruków 3D na bazie cyfrowych modeli. Źródło: J. Trzyna
PolyJet technology: Realization of color 3D prints based on digital models. Source: J. Trzyna

być ramki okularów, wkładki ortopedyczne czy komponenty deski rozdzielczej w samochodzie. Stosując surowe wydruki we wcześniej wspomnianych barwach, zakładamy, iż zostałyby skomercjalizowane jako wydruki 3D pełnowartościowych produktów. Problem ten dostrzeżono i rozpoczęto pracę nad barwieniem wyrobów powstałych z proszku.

Rynek usługowy, przy technologii SLS, na co dzień korzysta z usług lakierników samochodowych. Proces technologiczny barwienia jest zbliżony do tego znanego przy lakierowaniu elementów wykonanych z tworzyw sztucznych. Tu należy zwrócić uwagę na kilka aspektów związanych z procesem. Technologia SLS jest reprezentantem technik szybkiego prototypowania (RP, ang. Rapid Prototyping). Oczekuje się wytworzenia w krótkim czasie obiektu cyfrowego. Sam proces technologiczny może trwać kilkanaście godzin, często wyrażany jest dobowi. Po wydrukowaniu obiektu, konieczne jest wykonanie jego obróbki i dopiero po tym etapie wydruk może być dostarczony do lakierni. Tam - w zależności od dostępności i nakładu prac - realizuje się barwienie. Ten czas należy dodać do całości zlecenia.

Nadawanie barw wydrukowi, wykonanemu w technologii SLS, odbywa się również w procesie barwienia zanurzeniowego. Proces technologiczny, jak i użyte barwniki czy pigmenty, staje się tajemnicą użytkowników technologii SLS. Sposób barwienia obiektów, wykonanych w technologii SLS, nie jest powszechnie dostępny. Nie ma gotowych przepisów na uzyskanie konkretnych kolorów, np. RAL 5015. Ponadto, na końcowy efekt barwienia ma wpływ wiele czynników, m.in. grubość wytworzonej ścianki czy też pierwotny kolor wydruku. Dlatego też uzyskanie konkretnego efektu dla danego wydruku można uznać za zadanie badawczo-rozwojowe. Sam proces barwienia nie wymaga zaawansowanych technologii. Jest to głównie praca ręczna oraz z użyciem prostych narzędzi.

W Niemczech start-up o nazwie DyeMansion, po zapoznaniu się z obróbką technologii przyrostowej SLS, opracował i wprowadził na rynek urządzenie dedykowane barwieniu wyrobów wytworzonych z proszków. Rozwiązanie tego typu dedykowane przemysłowi produkcyjnemu, to wydatek przekraczający kwotę 50 000 €. Wysoki koszt urządzenia uniemożliwia wielu przedsiębiorstwom jego wdrożenie do procesu produkcyjnego.

Multi-Jet Fusion - MJF

Technologia opracowana i zastrzeżona przez firmę Hewlett-Packard. Po raz pierwszy zaprezentowana w 2014 roku. W porównaniu do SLS, MJF charakteryzuje się zastosowaniem dwóch rodzajów agentów wspomagających proces druku. Pierwszy z nich - fusion - jest nanoszony w obszarach modelowych, aby zwiększyć absorpcję promieniowania cieplnego. Drugi natomiast - detailing agent - jest umieszczany przy zewnętrznych konturach [41]. Ponadto, według HP, MJF jest do dziesięciu razy szybsze niż SLS.

Większość urządzeń, działających w tej technologii, pozwala na drukowanie modeli w kolorze szarym. Nadawanie barw modelom wytworzonym w tej technologii jest możliwe przy pomocy tych samych metod co dla SLS. Firma HP oferuje również urządzenie pracujące w technologii MJF, które pozwala na wytwarzanie fizycznych modeli 3D w pełnej palecie kolorów CMYK.

Natryskiwanie wiążące

W technologii Binder Jetting spoiwo jest selektywnie nakładane na złożone proszku. W ten sposób łączone są warstwy, wybrane obszary w celu utworzenia fizycznego modelu 3D. Powszechnie stosowanymi materiałami w tej technologii są piasek, metale i ceramika w postaci granulatu. Technologia pozwala na wytwarzanie pełnokolorowych obiektów.

Color Jet Printing - CJP

Technologia druku 3D (Zcorp's 3D Printng) CJP umożliwia wytwarzanie obiektów w paletce barw do 6 milionów kolorów. Znana jest na świecie od 1994 roku i początkowo znana była pod nazwą Zprinting. Jej twórcą jest firma Zcorp, która została następnie wykupiona przez 3D Systems. Od 2016 roku technologia jest znana jako ColorJet Printing. Jest ona wykorzystywana, m.in. w medycynie, przy tworzeniu modeli dydaktycznych [33], a także do wykonywania modeli do planowania przedoperacyjnego [13].

Jedną z zalet technologii jest brak generowania struktur podporowych [30]. Minusem natomiast stała się jakość powierzchni tworów, charakteryzująca się dużą chropowatością [15]. Obiekty wytworzone tą technologią są twarde i kruche [33]. Stosunkowo krótki czas wykonywania modeli jest jedną z zalet, które stanowią o wykorzystywaniu tej technologii w wielu dziedzinach sztuki. Ta konkretna zaleta decyduje o stosowaniu maszyn 3D Systems do wykonywania modeli koncepcyjnych w białym gipsie, który jest tradycyjnym materiałem do wykonywania takich modeli. Dzięki zastosowaniu drukarki 3D, model koncepcyjny może być wykonany w ciągu kilku godzin, dla porównania - do kilku dni lub tygodni przy ręcznym wykonywaniu modelu gipsowego [23]. Technologia CJP wykorzystywana jest również w architekturze przy wykonywaniu makiet [15], a dzięki możliwości drukowania modeli w kolorze jest stosowana w przemyśle obuwniczym [23].

Grupa naukowców z Chorwacji prowadziła badania, dotyczące możliwości kolorowego druku w tej technologii [35, 44, 50]. Wskazali oni istotne problemy występujące przy wydruku kolorowych modeli, czyli występowanie nierówności na powierzchni wydruku oraz nieprawidłowe odwzorowanie kolorów [35], tj. widoczna różnica kolorów zaplanowanych w systemie komputerowym, a uzyskanych na wydruku. Natomiast w publikacji [50] wykazali, że odwzorowanie kolorów zależy od położenia i orientacji powierzchni, sposobu wykończenia oraz rodzaju użytej drukarki. Ponadto, zademonstrowali możliwość zastosowania kolorowych bloków testowych jako narzędzia do wizualizacji koloru wydruku. Takie narzędzie przedstawiono jako pomoc przy wyborze palety kolorów do poszczególnych zastosowań w sztuce i projektowaniu.

Laminowanie arkuszy

Laminowanie arkuszy to proces drukowania 3D, w którym arkusze materiałów (np. papieru) są ze sobą łączone celem uzyskania przedmiotu. Przykładami technologii druku 3D, wykorzystującej ten proces, jest wytwarzanie obiektów laminowanych (LOM, ang. laminated object manufacturing) i ultradźwiękowe wytwarzanie addytywne (UAM, ang. Ultrasonic Additive Manufacturing) [10, 20].

Wytwarzanie obiektów laminowanych - LOM

Jest to jedna z najwcześniejszych technologii druku 3D, która początkowo została opracowana przez firmę Helysis [14]. Technologia umożliwia drukowanie w kolorze, dzięki procesowi opracowanemu przez firmę Mcor. W tym procesie kolorowy model 3D dzielony jest na warstwy. Następnie drukarka atramentowa zadrukowuje odpowiednio poszczególne kartki jedna warstwa po drugiej. W dalszej kolejności stos papieru jest podawany do drukarki 3D, w której jest odpowiednio cięty i sklepany. W ten sposób otrzymywany jest w pełni kolorowy, papierowy model 3D [23]. Druk 3D na bazie papieru znajduje zastosowanie w produkcji map 3D. Jednym ze szczególnych zastosowań druku 3D na tym rynku jest wykonywanie trójwymiarowych dekoracyjnych map w pełnym kolorze [52].

Natryskiwanie materiału

Zgodnie z normą ASTM (ISO), proces drukowania MJT elementu odbywa się poprzez selektywne osadzenie materiału budulcowego kropla po kropli. Głowica drukująca dozuje kropelki światłoczułego materiału, który pod wpływem światła ultrafioletowego (UV) zestala się. W efekcie otrzymywany jest fizyczny model 3D [17]. Istnieją dwa podstawowe mechanizmy wytwarzania kropli: tryb ciągły (CS, ang. continuous stream) i tryb „kropla na żądanie” (DOD, ang. drop-on-demand), który jest stosowany w większości komercyjnych

maszyn MJT [16]. Wśród technologii, działających w procesie MJT, można wyróżnić PolyJet oraz NanoParticle Jetting (NPJ). W wielu publikacjach proces MJT określany jest mianem PolyJet. Wynika to z faktu, że pierwsza drukarka, korzystająca z procesu natryskiwania materiału, pracowała w technologii PolyJet.

PolyJet

Technologia PolyJet należy do firmy Stratasys. Jej działanie to precyzyjne rozpylanie kropelek płynnego fotopolimeru lub innego płynnego materiału przez wiele dysz drukujących. Napylony materiał jest natychmiast utwardzany przez światło UV, tworząc cienkie warstwy na platformie roboczej. Technologia oferuje możliwość uzyskania 0,5 miliona barw (Pantone lub CMYK). Do jej zalet należy wysoka rozdzielczość i jednoczesne drukowanie z wielu materiałów [10]. Dzięki możliwości zastosowania materiałów typu DIGITAL, tj. mieszanek co najmniej dwóch żywic, możliwe jest uzyskanie wydruków transparentnych i elastycznych jednocześnie. Funkcja ta cieszy się dużym zainteresowaniem w medycynie, gdzie według cyfrowej dokumentacji medycznej tworzone są fizyczne modele przedoperacyjne. W zależności od dostępnej opcji druku w jednym procesie produkcyjnym możliwe jest użycie sześciu żywic bazowych. Przy wykonywaniu modelu używa się również żywic podporowych, które są rozpuszczalne w wodzie.

W maju 2022 roku firma Stratasys przedstawiła światu nowe urządzenie drukujące w technologii PolyJet o nazwie J850 TechStyle, innowacją ma być nadruk 3D bezpośrednio na tkaninie, o maksymalnej powierzchni 2 m². Narzędzie z pewnością przyczyni się do kreowania nowych implementacji druku 3D w sztuce.

Atramenty utwardzane promieniami UV (ang. UV curable inkjet)

Firma Mimaki wprowadziła na rynek urządzenie pracujące w autorskiej technologii przedsiębiorstwa - *UV curable inkjet printing*, które precyzyjnie nanosi pigmentowaną żywicę fotoutwardzalną, której wytrzymałość jest podobna do tworzywa ABS. Drukarka 3D Mimaki 3DUJ-553 ma możliwość realizacji modeli w paletce ponad 10 milionów kolorów. W czasie procesu wytwórczego, urządzenie korzysta z dwóch materiałów: docelowego (MH - 100 CMYK) oraz podporowego (SW - 110). Po procesie druku, niezbędny materiał podporowy zostaje utylizowany (rozpuszczony w wodzie), a materiał modelowy przyjmuje formę fizyczną wykonanego modelu cyfrowego.

Jednym z ciekawszych zastosowań tego urządzenia w działaniach twórczych jest kopiowanie obrazów olejnych. Zapotrzebowanie na kopie o wysokiej wierności rośnie, tymczasem tradycyjne ręczne metody kopiowania i techniki druku graficznego niewystarczająco dokładnie odtwarzają szczegóły obrazu. Ponadto, proces jest dość powolny [40]. Dlatego też grupa badaczy zaproponowała nowe rozwiązanie drukowania modeli 3D obrazów olejnych, wykorzystujące urządzenie Mimaki. Zaproponowana metoda rozszerza zastosowanie urządzenia przy tworzeniu realistycznych reprodukcji [53].

Podsumowanie i wnioski

Na upowszechnienie stosowania technik przyrostowych w sztuce wpłynęło szereg czynników. Do najważniejszych można zaliczyć:

1. Czynniki ekonomiczne
 - obniżenie kosztu zakupu urządzeń
 - obniżenie kosztów materiałów eksploatacyjnych
2. Dostępność technologii
 - opracowanie nowych i rozwój istniejących technik przyrostowych
 - opracowanie nowych materiałów
3. Upowszechnienie narzędzi do modelowania 3D
4. Czynniki informacyjne - edukacja
5. Technologie wytwórcze nie ograniczają projektantów w kreowaniu form cyfrowych tak bardzo jak konwencjonalne metody wytwórcze

Stosowane przez twórców, artystów, projektantów próby łączenia różnych technik wytwarzania dają możliwość uzyskania nowych efektów form artystycznych. Przedstawione w pracy, wybrane przykłady zastosowania technik wytwarzania, pokazują potencjalne możliwości i ewentualne kierunki rozwoju. Dzięki połączeniu różnych metod wytwarzania, można uzyskać nowe środki ekspresji artystycznej.

Ważnym elementem dzieła artystycznego jest jego kolorystyka. Wybrane technologie pozwalają na wytworzenie obiektów wielokolorowych. Jednakże kolorowy druk 3D ciągle się rozwija i w najbliższej przyszłości coraz bardziej będzie zyskiwał na popularności.

Wytwarzanie modeli wieloobektowych z wykorzystaniem nowoczesnych technik druku 3D wymusza na użytkownikach ciągłej edukacji, np. z zakresu obsługi oprogramowania projektowego oraz dedykowanym im narzędzi do projektowania. O technologiach druku 3D mówi się, że to technologie przyszłości, tymczasem one czekają na rozwój oprogramowania, wykorzystujących pełen ich potencjał. Dziś artyści pracują na cyfrowych tabletach, a świat przygląda się technologiom rozszerzonej i wirtualnej rzeczywistości. Nowo powstałe, zdigitalizowane projekty będzie można zmaterializować przy pomocy systemów do druku.

Wytwarzanie modeli wielomateriałowych, wielokolorowych w jednym procesie technologicznym docenione zostało przez biura projektowe oraz ekspertów wzornictwa przemysłowego. Prototypy nowych urządzeń, desek rozdzielczych pojazdów czy np. opakowań perfum, prezentowane są na targach branżowych w celu weryfikacji potencjału komercjalizacji rynku. Gdy nowa forma zostanie zaakceptowana przez potencjalnych nabywców, rozpocznie się proces szacowania kosztów produkcji.



6. Ufizyczniona kopia cyfrowego obiektu muzealnego, wykonana metodą SLS z wydrukowanymi i barwionymi oprawkami okularów. Źródło: J. Trzyna
A physicalized copy of a digital museum object made using the SLS method with printed and tinted eyeglass frames.
Source: J. Trzyna

The development of modern AM (Additive Manufacturing) incremental techniques, the proliferation of 3D modeling tools, and the reduction of material costs have made advanced manufacturing tools available to a wide audience: makers and artists. The combination of different manufacturing techniques offers the possibility of obtaining new effects, artistic forms. The paper presents examples of the use of selected fabrication techniques, combining different methods to achieve new means of artistic expression. Also described are selected technological conditions for manufacturing multi-object models using modern 3D printing techniques. Examples of the possibility of producing multi-material, multi-color models in a single technological process are presented.


Keywords: 3D printing, multi-object models, incremental techniques, multi-material models, rapid prototyping, RP / AM, manufacturing techniques, 3D modeling, 3D sculpting

3D printing in art – selected aspects of multibody modeling

- Izabela Miechowicz
- Sławomir Miechowicz
- Jakub Trzyna
- Wiktoria Wojnarowska


Izabela Miechowicz, Faculty of Graphic Arts, Academy of Fine Arts in Gdańsk

Sławomir Miechowicz, Department of Machine Design, Faculty of Mechanical Engineering and Aeronautics, Rzeszów University of Technology

(S. Miechowicz)  <https://orcid.org/0000-0001-5135-0121>

Jakub Trzyna, Dolnośląski Park Innowacji i Nauki S.A.

Wiktoria Wojnarowska, Doctoral School of Engineering and Technical Sciences, Rzeszów University of Technology

(W. Wojnarowska)  <https://orcid.org/0000-0001-7588-5294>

Introduction

In recent years, it has been possible to notice an increasing interest among creators of artistic works in new technologies. Many artists create their artworks using digital technology, including modern CAD (Computer Aided Design) techniques and 3D modeling tools (e.g., ZBrush [54], AutoDesk 3DS Max [19], Blender [5]). Using such tools, artists can design digital 3D models, which are mathematical representations of a three-dimensional object. They can transfer their work from the virtual world to the real world using modern manufacturing techniques such as 3D printing. This is an incremental technique that produces an object based on digital 3D models. Incremental techniques are a new medium for artistic expression. Many artists are experimenting in their works, combining different fabrication techniques. There are different types of 3D printing. The most common incremental techniques used by developers include fused deposition modelling (FDM), which is printing from thermoplastics; selective laser sintering (SLS), which is printing from powdered

plastics; and stereolithography (SLA), which is printing from light-cured resin, selective laser melting of metal powders (DMLS, or Direct Metal Laser Sintering), or printing from powdered metals [23].

In the arts, incremental techniques are used, among other things, to produce casting molds of sculptures and bas-reliefs. However, it is worth noting that they are also used for the direct fabrication of sculptures and reliefs [39]. The process of creating an artistic work is then carried out in virtual space in a 3D modeling environment. Traditional casting techniques, such as vacuum casting (VC), are used to cast 3D objects. In the case of vacuum casting, the physical model made by the chosen incremental technique usually serves as a matrix for making a silicon mold [42, 51]. Only selected materials used in incremental techniques are suitable for molding (lost material method). Examples of the lost material method used for this purpose are described in the article [30]. Due to its low toxicity, PLA (Polylactic Acid) is a frequently used material in this technique [23]. Examples of the use of incremental techniques and the combination with other manufacturing methods can be found in the work of many contemporary artists, especially of the younger generation. An example of the use of modern design and fabrication techniques in art is the Yinyun project [3]. It is a multi-object art installation created by the Fabcraft Design Lab studio. It consists of 80 models generated using the generative design technique. The ceramic forms of the installation were made using recycled porcelain and fly ash. On the other hand, an example of the use of 3D printing to model complex multi-object structures in artistic creation is a kinematic dress designed and made by the Nervous System studio [32]. It was made using SLS technology. Nylon was used for its fabrication. The dress is composed of petals that were embedded on a mosaic skeleton. The use of SLS technology made it possible to make the dress in one piece, in a single technological process.

3D printing is used in industrial design, the art of designing objects that surround and serve humans. For many years, industrial design was done using standard techniques such as sketching, technical drawing, and mock-ups. However, the development of additive manufacturing techniques has made 3D printing an indispensable part of industrial design [2]. One example of the use of new technologies to make objects surrounding humans is the Hydrophytes series, a collection of 4D printed plants that move in response to water movement, gravity or even human interaction. Multi-material printing, using PolyJet technology, was used to make the objects. The different parts of the prints vary in hardness, allowing movement and interaction. The project was created by industrial designer Nicole Hone and made using Connex 3D [21].

Incremental techniques have become an important part of the education of future engineers - industrial design designers. Many prototypes of engineering designs are created using 3D printing. Among the engineering theses produced by students at Swietokrzyska University of Technology using 3D printing, Adamczak and Graba mention the design of two liquid drinking vessels by Eng. Natalia Kowalska, the design of a bus stop by Eng. Oliwia Wadyszewska, and the design of multifunctional furniture by Eng. Ewelina Pokrzywinska [2].

Another example of the application of incremental techniques in art is the H.O.R.T.U.S. XL Astaxanthin installation [12] created by ecoLogicStudio. It is a large-scale 3D structure adapted to the development of microbial life, which was created based on the analysis of coral reefs. The design was created based on the study of biological models of endosymbiosis. The structure is composed of triangular modules, in which photosynthetic cyanophytes were placed on a biogel substrate. Another large-scale installation is the "Magic queen" [26],

which is a living environment produced by 3D printing. The printed structure is covered with seeds and embryos of fungi and plants. Ninety tons of local soil was used to create this unusual environment, allowing the whole thing to biodegrade. The premise of the project was to create an environment capable of restoration and growth. The installation is controlled by a robotic system supported by artificial intelligence. A combination of robotics and 3D printing is often used to create large-scale installations. Printing heads mounted on robotic arms expand the possibilities of constructing complex supports for three-dimensional objects of organic structures. Such applications can use biocomposites in granular form along with non-toxic hydrogels to connect the structure. Such structures can be used to create architectural elements in construction applications [27].

Depending on the project parameters, different 3D printing techniques are used. One of the frequently used technologies is FDM. It has been used by Peter Lang of the University of Applied Sciences in Rosenheim, among others. He developed a sculpture with sound-absorbing properties. The design was inspired by bee and hornet nests. The prototype was scanned and printed using Tecnar biopolymer. Peter used only eco-friendly means, such as hand-selected pigments and beer as a natural adhesive [37]. Another example of the use of FDM technology is a project by an Australian artist called "Filament Sculptures. In her project, the artist examines FDM technology as an art medium" [43].

An example of the use of SLS technology in art is the work "Circle of Life" by Mary Visser. The artist is one of the pioneers of using AM in artwork. She uses a number of tools such as Cheeta3D, Carrara Studio Pro and 3DS MAX as needed [30]. Her first experiments with 3D printing were due to the technical limitations of the project at hand. It was extremely difficult to produce a complex, detail-rich, small-format sculpture using traditional methods. The work "Circle of Life" was extremely complicated and almost impossible to make with the help of traditional techniques. Therefore, the artist chose the SLS technique for the project. This technique allows the reproduction of delicate details. Creating many elements and combining them into a larger composition was much less demanding for the artist than in the traditional technique. The artist found a means of creative expression that did not limit her vision [48].

The project "the Ultraborg Stiffneck" by designer Vitaly Bulgarov, on the other hand, is an example of using the material jetting (MJ) method. Using the MJ method, a highly complex print was created with a high level of detail accuracy. The colorful finish of the model was achieved by coating it with a special epoxy paint used in the firearms industry [29].

Various types of materials are used for 3D printing [38]. Fully functional components using 3D printing technology can be obtained from metals and their alloys, ceramics, composites, polymers, biomaterials, smart materials, food printing materials, or building materials [47]. The dominant materials in 3D printing are plastics and metals. One of the more interesting materials is ceramics, which can be used to print the dishes and sculptures, among other things [56]. For example, Olivier van Herpt uses a 3D printer he built for ceramics in his work. The machine makes it possible to print clay vessels. The artist uses the context of error and random phenomena in printing. He calls them delightful failures. Error is a human element in manufacturing technologies. The artist aspires to include unique random "mistakes" in his ceramics [30]. 3D printing makes it possible to achieve effects in art that could not be achieved with traditional methods. An example of a project that demonstrates this advantage of 3D printing is a composition by Joseph Coddington [31]. It represents a reinterpretation of a fragment of Claude Monet's "Water Lilies." The composition consists of 15

layers of colored voxels made by 3D printing. The voxels are spread throughout the composition. Directing light at the object creates an effect similar to that of light diffused in a pond. The ability to operate with external light is an effect that Monet would not have been able to achieve with any painting technique.

It should be noted that incremental techniques are not only used to design and produce brand new works. They are also used in conservation and restoration projects [1, 49], including getting copies of antiquities [25, 28], but also for their restoration [55].

One of the important elements of art is color. Art works often use multiple colors, while some 3D printing technologies allow for prints in only one color. In the case of these techniques, printed pieces often require more advanced processing than simply removing supports, including painting [9, 11]. There are also technologies that allow printing with multiple colors. However, obtaining such objects is possible under certain conditions. This work is intended to present the possibilities of colorizing artistic objects made with selected incremental techniques.

Technological considerations for the production of artistic objects using colored materials

Incremental technologies offer many opportunities to represent a digital form in physical reality. The use of the right technology contributes to solving many problems for a designer, creator, company, or institution. The problem can be obtaining the right parameters for the print, such as the hardness of the material or its color. This article focuses on verifying the colorability of 3D prints depending on the choice of technology.

Several different processes can be separated in incremental techniques. Based on standards, AM processes are divided into seven categories: material extrusion (MEX), photopolymerization (VPP, vat photopolymerization), powder bed fusion (PBF), binder jetting (BJT), sheet lamination (SHL), material jetting (MJT or MJ), and directed energy deposition (DED) [24].

Material extrusion

Material extrusion-based 3D printing technologies include FDM and fused filament fabrication (FFF). These are the most popular 3D printing methods, which involve applying successive layers of thermoplastic material to a substrate [10]. This is due to the relatively good printed quality and relatively good affordability compared to other incremental techniques, such as SLS, or SLA [4].

FDM and FFF are mainly associated with single-color prints. The determinant of the final color of a 3D print is the input material. It can be assumed that obtaining a physical model in blue obliges the process operator to load blue filament (the 3D printing material used in technologies mentioned above). Monolithic 3D printing is realized in this way (Fig. 1a).

One of the simplest methods of multicolor printing is to manually stop the process, change the material and resume the process [6]. In this way, it is possible to switch to a different color in a binary manner (Fig. 1b). A certain development of this method of printing multicolored objects using FDM technology is the technique proposed by Takahashi et al. [45]. The Programmable Filament technique does not require any hardware modifications. It involves printing using a filament created by connecting segments of different colors together. An interesting feature on the market is Rainbow Filament [18], which is multicolored. Using such a material offers the possibility of producing objects with smooth gradient color transitions. There are also printers that have two heads (two extruders), which allow you to print with two different filaments. During

printing, the device automatically switches between filaments, so you do not have to do it manually. Such printers can print in two different colors, but also in different materials [8]. The ability to print in two colors increases the aesthetics of the object being made (Fig. 1c).

The problem of single-color printing in FDM and FFF technologies was recognized by Prusa, which decided to solve it by releasing a product called Multi-Material Upgrade (MMU) [36]. This device allows printing with up to five different filaments. In order to work properly, it is necessary to use it with dedicated software, which gives users the ability to assign colors to the manufactured products in the phase of preparing the digital model for printing. The realization of the production of the assumed colors is handled by the MMU system. Another device of this type is the Co Print [7], a module for printers with a Bowden extruder that allows printing with up to seven filaments.

Adding color to objects made with FDM/FFF technology can also be done already in post-processing. Prints can be painted with various painting supplies, such as acrylic paints [22]. When using acrylic paints, good paint adhesion occurs when painting objects made of ABS. In contrast, for objects made of PLA, the adhesion of acrylic paints is relatively low [4]. In the case of objects produced using FDM/FFF technology, their surface is corrugated to some extent. This is due to the fact that parts made with this technology are created by applying layers of polymer [34]. It is possible to apply paints to such a surface, but the visual effect is inferior to that of applying paints to a smooth - integrated surface. Therefore, before painting, it is recommended to perform additional work to level the corrugated surface. As Berg [4] has shown, treating prints with abrasive or solvent (e.g., acetone) not only smooths the surface, but also increases the adhesion of acrylic paints to the painted surface.

Welding in a powder bed

Powder Bed Fusion In this technology, the building material is a powder that is bonded together using various heat sources. Among the materials used are metals, ceramics, polymers, composites, and hybrids. Powder bed bonding includes a variety of techniques having different heat sources: electron beam melting (EBM), laser sintering (SLS), laser remelting (DMLS) and selective heat sintering (SHS) [46]. PBF-type methods also include Multi-Jet Fusion (MJF) technology.

Selective laser sintering - SLS

SLS technology is based on the laser sintering of plastic powders. It is the most popular example of powder 3D printing technology [10]. Despite the wide spectrum of materials used, the technology is characterized by a product with a single color. Depending on the type of machine and materials used, products produced by this technology can be the following:

- grey
- white
- graphite
- black
- yellowish

The simplest way to give color to parts made with SLS technology is post-processing, which includes painting with acrylic paints. Spray painting and resin coating are also possible [1].

SLS technology is advertised by manufacturers as a technology dedicated to personalized, short-run production. Examples of such products include eyeglass frames, orthotics, or car dashboard components. Based on raw prints in the previously mentioned colors, it would become a problem to commercialize 3D prints

as full-fledged products. This problem was recognized, and work began on coloring products created from the powder.

The service market, based on SLS technology, uses the services of automotive painters on a daily basis. The technological process of coloring is similar to that known for painting plastic parts. It is important to note several aspects related to the process. SLS technology is a representative of rapid prototyping techniques (RP, or Rapid Prototyping). The requirement for this technology is to produce a digital object in a short period of time. The technological process itself can take several hours, often expressed in days. Once the object is printed, it still needs to be processed, and only after this stage can the print be delivered to the paint shop. There, depending on availability and workload, coloring is performed. This time must be added to the total order.

The imparting of color to prints made with SLS technology is also done by dip dyeing. The technological process and the dyes or pigments used become the secret of the SLS technology users.

The method of coloring objects made with SLS technology is not widely available. There are no ready recipes for obtaining specific colors, e.g. RAL 5015. Additionally, the final dyeing effect is influenced by many factors, including the thickness of the wall produced or the original color of the print. Therefore, obtaining a specific effect for a given print can be considered a research and development task. The coloring process itself does not require advanced technology. It is mainly manual work with simple tools.

In Germany, a start-up called DyeMansion, after learning about SLS incremental technology processing, has developed and marketed a device dedicated to coloring products made from powders. A solution of this type dedicated to the manufacturing industry is an expense exceeding € 50,000. The high cost of the device prevents many companies from implementing it into their production process.

Multi-Jet Fusion - MJF

A technology developed and proprietary by Hewlett-Packard, it was first unveiled in 2014. Compared to SLS, MJF is characterized by the use of two types of agents to support the printing process. The first - fusion - is applied to model areas to multiply the absorption of thermal radiation. The second, a detailing agent, is placed at the outer contours [41]. Moreover, according to HP, MJF is up to ten times faster than SLS.

Most of the equipment that operates with this technology allows models to be printed in gray. Adding color to models produced with this technology is possible using the same methods as for SLS. HP also offers a device that works with MJF technology, which allows the production of physical 3D models in the full CMYK color palette.

Binder Jetting

In Binder Jetting technology, the binder is selectively applied to a powder bed. In this way, selected areas are joined layer by layer to create a physical 3D model. Common materials used in this technology are sand, metals, and **granular** ceramics. The technology makes it possible to produce full-color objects.

Color Jet Printing - CJP

CJP's (Zcorp's 3D Printing) 3D printing technology enables the production of objects in a color palette of up to 6 million colors. It has been known around the world since 1994 and was originally known as Zprinting. Its developer is Zcorp, which was later

bought out by 3D Systems. Since 2016, the technology has been known as ColorJet Printing. It is used, among other things, in medicine to create didactic models [33], as well as to make models for preoperative planning [13].

One of the advantages of this technology is the lack of generation of support structures [30]. However, the downside has become the quality of the armature surface, characterized by high roughness [15]. The objects produced by this technology are hard and brittle [33]. The relatively short time required to make models is one of the advantages that explains the use of this technology in many fields of art. This particular advantage determines the use of 3D Systems machines for making conceptual models in white plaster, which is the traditional material for making such models. Using a 3D printer, a conceptual model can be made in a matter of hours compared to several days or weeks when making a plaster model by hand [23]. CJP technology is also used in architecture to create mock-ups [15], and with the ability to print models in color, it is used in the shoe industry [23].

A group of scientists from Croatia conducted research on the possibility of color printing with this technology [35, 44, 50]. They pointed out significant problems that occur in the printing of color models, namely the occurrence of irregularities on the printed surface and incorrect color reproduction [35], i.e. the visible difference between the colors planned in the computer system and those obtained on the printout. On the other hand, in a publication [50], they showed that color reproduction depends on the position and orientation of the surface, the finishing method and the type of printer used. Furthermore, they demonstrated the possibility of using color test blocks as a tool to visualize the color of a print. This tool was presented as an aid to selecting a color palette for particular art and design applications.

Sheet lamination

Sheet lamination is a 3D printing process in which sheets of materials (such as paper) are bonded together to produce an object. Examples of 3D printing technology **that uses** this process include laminated object manufacturing (LOM) and ultrasonic additive manufacturing (UAM) [10, 20].

Manufacturing of laminated objects - LOM

It is one of the first 3D printing technologies, which was initially developed by Helysis [14]. The technology allows printing in color, thanks to a process developed by Mcor. In this process, a 3D color model is divided into layers. An inkjet printer then prints the individual sheets accordingly one layer at a time. The stack of paper is then fed to the 3D printer, where it is cut and glued together accordingly. In this way, a fully colored paper-based 3D model is obtained [23]. Paper-based 3D printing is used in the production of 3D maps. One particular application of 3D printing in this market is the production of full color 3D decorative maps [52].

Material Jetting

According to the ASTM (ISO) standard, the MJT printing process of a component is carried out by selectively depositing the build material drop by drop. The print head dispenses droplets of light-sensitive material that solidifies under ultraviolet (UV) light. The result is a physical 3D model [17]. There are two basic droplet generation mechanisms: the continuous stream (CS) mode and the drop-on-demand (DOD) mode, which is used in most commercial MJT machines [16]. Among the technologies that work with the MJT process are PolyJet and NanoParticle Jetting (NPJ). In many publications, the MJT process is referred to as PolyJet. This is because the first printer using the material spraying process worked with PolyJet technology.

PolyJet

Polyjet technology is owned by Stratasys. Its operation is based on the precise spraying of droplets of liquid photopolymer or other liquid material through multiple printing nozzles. The sprayed material is immediately cured by UV light, forming thin layers on the working platform. The technology offers the ability to produce 0.5 million colors (Pantone or CMYK). Its advantages include high resolution and simultaneous printing from multiple materials [10]. Thanks to the possibility of using DIGITAL materials, i.e. blends of at least two resins, it is possible to obtain transparent and flexible prints simultaneously. This feature is of great interest in medicine, where physical preoperative models are created based on digital medical records. Depending on the available printing option, six base resins can be used in a single production process. Water-soluble support resins are also used when making the model.

In May 2022, Stratasys introduced to the world a new Polyjet printing device called J850 TechStyle, the innovation is to 3D print directly on fabric, with a maximum area of 2m². The tool will certainly contribute to the creation of new implementations of 3D printing in the arts.

UV curable inkjet

Mimaki has introduced a device that works with the company's proprietary technology - UV curable inkjet printing. The technology is based on the precise application of pigmented photo-curable resin, whose strength is similar to that of ABS plastic. The Mimaki 3DUJ-553 3D printer has the ability to realize models in a palette of more than 10 million colors. During the manufacturing process, the device uses two materials: the target material (MH - 100 CMYK) and the support material (SW - 110). After the printing process, the necessary support material is disposed of (dissolved in water), and the model material takes the physical form of the made digital model.

One of the most interesting applications of this device in creative activities is the copying of oil paintings. The demand for high-fidelity copies is growing; meanwhile, traditional manual copying methods and graphic printing techniques do not reproduce the details of the image accurately enough. Moreover, the process is quite slow [40]. Therefore, a group of researchers has proposed a new solution for 3D model printing of oil paintings, using a Mimaki device. The proposed method expands the use of the device to achieve realistic reproductions [53].

Summary and Conclusions

Several factors have influenced the widespread use of incremental techniques in the arts. Among the most important are the following:

1. Economic factor
 - Reducing the cost of purchasing equipment
 - Reducing the cost of consumables
2. Availability of technology
 - Developing new and expanding existing incremental techniques
 - Development of new materials
3. Dissemination of 3D modeling tools
4. The information factor - education
5. Manufacturing technologies do not limit designers in creating digital forms as much as conventional manufacturing methods

Applied by creators, artists, designers, attempts to combine different fabrication techniques offer the possibility of obtaining new effects, artistic forms. Selected examples of the application of fabrication techniques, presented in the paper, show potential opportunities and possible directions of development. By combining

different manufacturing methods, new means of artistic expression can be obtained. An important element of an artistic work is its color. The selected technologies make it possible to produce multicolored objects. However, 3D printing in color is still developing and will become increasingly popular in the near future.

The manufacture of multi-object models using modern 3D printing techniques forces users to be continuously educated, for example, in the use of design software and dedicated design tools. 3D printing technologies are said to be the technologies of the future; meanwhile, they are waiting for the development of software that exploits their full potential. Today, artists work on digital tablets, and the world is looking at augmented and virtual reality technologies. Newly created digitized creations will be able to be materialized with printing systems.

The production of multi-material, multi-color models in a single technological process has been appreciated by design offices and industrial design experts. Prototypes of new appliances, vehicle dashboards, or, for example, perfume packaging are presented at industry fairs to verify the potential for commercialization in the market. Once the new form is received positively by potential buyers, the process of estimating the costs associated with production begins.

Bibliografia

Bibliography

- [1] Acke L., de Vis K., Verwulgen S., Verlinden J., *Survey and literature study to provide insights on the application of 3D technologies in objects conservation and restoration*, Journal of Cultural Heritage 2021 (49), <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.12.003>. (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [2] Adamczak S., Graba M., *The 3D printing in industrial design*, Mechanik 93 (1), 2020, <https://doi.org/10.17814/mechanik.2020.1.1>. (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [3] *A-Design Award and Competition. Yinyun Ceramic 3D Print Art Installation by Fabcraft Design 2020*. <https://competition.adesignaward.com/design.php?ID=101663> (data dostępu/access: 27.06.2022).
- [4] Berg A., *Comparing the efficacy of four methods of preparing 3D-printed polymer surfaces to take paint and their effect on an acrylic paint layer*, Meddelelser Om Konservering 2021 (1).
- [5] Blender Online Community. *Blender - a 3D modelling and rendering package*, 2018.
- [6] *Changing Material Colors for FDM 3D Printers | A Tip from a Tech 2019*, Computer Aided Technology LLC, <https://www.cati.com/blog/changing-material-colors-for-fdm-3d-printers-a-tip-from-a-tech/> (data dostępu/access: 14.07.2022).
- [7] *Co Print: Multi-Filament Module for All Bowden 3D Printer.*, Co Print, Indiegogo 2021. <https://www.indiegogo.com/projects/co-print-multi-filament-module-for-3d-printer#/> (data dostępu/access: 27.06.2022).
- [8] Daramwar V., Kadam S., *Design and Development of Multi-material Extrusion in FDM 3D Printers*, 2020.
- [9] Diegel O., Nordin A., Motte D., *Introduction to Additive Manufacturing, A Practical Guide to Design for Additive Manufacturing*, Springer, Singapore 2019, https://doi.org/10.1007/978-981-13-8281-9_1. (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [10] Dizon J.R.C., Espera A.H., Chen Q., Advincula R.C., *Mechanical characterization of 3D-printed polymers*, Additive Manufacturing 2018 (20), <https://doi.org/10.1016/j.addma.2017.12.002>. (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [11] Dizon J.R.C., Gache C.C.L., Cascolan H.M.S., Cancino L.T., Advincula R.C., *Post-Processing of 3D-Printed Polymers*, Technologies (Basel) 2021 (9), <https://doi.org/10.3390/technologies9030061>. (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [12] ecoLogicStudio, *H.O.R.T.U.S. XL Astaxanthin*, 2019, <https://www.ecologicstudio.com/projects/h-o-r-t-u-s-xl-astaxanthin-g/> (data dostępu/access: 27.06.2022).

- [13] Ertürk C., Ayyıldız S., Erdöl C., *Orthopedics and 3D technology in Turkey: A preliminary report*, Joint Diseases and Related Surgery 2021 (32), <https://doi.org/10.52312/jdrs.2021.20>. (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [14] Feygin M., *Apparatus and Method for Forming an Integral Object from Laminations*, U.S. Patent No. 4752352, 1988.
- [15] Gibson I., Kvan T., Wai Ming L., *Rapid prototyping for architectural models*, Rapid Prototyping Journal 2002 (8), <https://doi.org/10.1108/13552540210420961>. (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [16] Gibson I., Rosen D., Stucker B., Khorasani M., *Material Jetting. Additive Manufacturing Technologies*, Cham: Springer International Publishing; 2021, https://doi.org/10.1007/978-3-030-56127-7_7. (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [17] Gülcan O., Günaydın K., Tamer A., *The State of the Art of Material Jetting—A Critical Review*, Polymers, Basel 2021 (13), <https://doi.org/10.3390/polym13162829>. (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [18] Gwiazda P., *Test tęczowego filamentu PLA Rainbow Silk od ROSA3D*, Centrum Druku 3D 2021, <https://centrumdruku3d.pl/test-teczowego-filamentu-pla-rainbow-silk-od-rosa3d/> (data dostępu/access: 27.06.2022).
- [19] Harper J., *Mastering Autodesk 3ds Max 2013*, John Wiley & Sons, 2012.
- [20] Hehr A., Wenning J., Terrani K., Babu S.S., Norfolk M., *Five-Axis Ultrasonic Additive Manufacturing for Nuclear Component Manufacture*, JOM 2017 (69), <https://doi.org/10.1007/s11837-016-2205-6>. (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [21] Hone N., *Hydrophytes*, 2018, <https://www.nicolehone.com/#/hydrophytes/> (data dostępu/access: 27.06.2022).
- [22] Horvath J., Cameron R., *Surface Finishing Filament Prints*, Mastering 3D Printing, Apress, Berkeley, CA 2020, https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5842-2_6. (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [23] Hoskins S., *3D Printing for Artists, Designers and Makers*, 2nd ed. Bloomsbury Publishing; 2018.
- [24] ISO/ASTM 52900:2021. Additive manufacturing – General principles – Fundamentals and vocabulary, n.d.
- [25] Kaufman J., Rennie A. E., Clement M., *Single Camera Photogrammetry for Reverse Engineering and Fabrication of Ancient and Modern Artifacts*, Procedia CIRP 2015 (36), <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.01.073> (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [26] MAEID. *magic queen. 3D Printed Soil Landscape Cared for by a Robotic Gardener 2021*, <https://www.designboom.com/architecture/magic-queen-3d-printed-soil-landscape-robotic-gardener-interview-maeid-06-26-2021/> (data dostępu/access: 27.06.2022).
- [27] MAEID. *Soil 3D Printing. Combining Robotic Binder-Jetting Processes with Organic Composites For Biodegradable Soil Structures 2018*, <https://maeid.com/works/stochastic-fabrication-4> (data dostępu/access: 27.06.2022).
- [28] Merchán M. J., Merchán P., Salamanca S., Pérez E., Nogales T., *Digital fabrication of cultural heritage artwork replicas. In the search for resilience and socio-cultural commitment*, Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage 2019 (15), <https://doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00125> (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [29] Molitch-Hou M., *Designer's dream cyborg 3D printed into reality*, 3D Printing Industry 2015. <https://3dprintingindustry.com/news/designers-dream-cyborg-3d-printed-into-reality-53080> (data dostępu/access: 27.06.2022).
- [30] Mongeon B., *3D Technology in Fine Art and Craft, Exploring 3D Printing, Scanning, Sculpting, and Milling*, New York and London: Focal Press Taylor & Francis, 2016.
- [31] Myers L., *Joseph Coddington turns claude monet's water lilies into a 3D printed object*, Designboom 2021, <https://www.designboom.com/art/joseph-coddington-claude-monet-water-lilies-3d-printed-object-03-29-2021/> (data dostępu/access: 27.06.2022).
- [32] *Nervous System. Kinematic Petal Dress 2016*, <https://n-e-r-v-o-u-s.com/projects/albums/kinematic-petals-dress/> (data dostępu/access: 27.06.2022).
- [33] O'Reilly M. K., Reese S., Herlihy T., Geoghegan T., Cantwell C.P., Feeney R.N.M., *Fabrication and assessment of 3D printed anatomical models of the lower limb for anatomical teaching and femoral vessel access training in medicine*, Anatomical Sciences Education 2016 (9), <https://doi.org/10.1002/ase.1538> (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [34] Pandey P.M., Venkata Reddy N., Dhande S.G., *Improvement of surface finish by staircase machining in fused deposition modelling*, Journal of Materials Processing Technology 2003 (132), [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00953-6](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00953-6).
- [35] Parraman C., Walters P., Reid B., Huson D., *Specifying colour and maintaining colour accuracy for 3D printing [w:] Three-Dimensional Image Capture and Applications*, Proc. SPIE 6805, 2008, <https://doi.org/10.1117/12.766540> (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [36] Pascale D., Simion I., *Multi-material 3D printer extruder concept*, Journal of Industrial Design and Engineering Graphics 2018 (13).
- [37] P.M., *Peter Lang's 3D Printed 'Silent Orchestra' 2021*, <https://www.3dnatives.com/en/peter-langs-3d-printed-silent-orchestra-240520215/> (data dostępu/access: 27.06.2022).
- [38] Ranjan R., Kumar D., Kundu M., Chandra Moi S., *A critical review on Classification of materials used in 3D printing process*, Materials Today: Proceedings 61, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.308> (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [39] Sargentis G.-F., Frangedaki E., Chiotinis M., Koutsoyiannis D., Camarinopoulos S., Camarinopoulos A., *3D Scanning/Printing: A Technological Stride in Sculpture. Technologies*, Basel 2022; <https://doi.org/10.3390/technologies10010009> (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [40] Shi L., Babaei V., Kim C., Foshey M., Hu Y., Sitthi-Amorn P., *Deep multispectral painting reproduction via multi-layer, custom-ink printing*, ACM Transactions on Graphics 2018 (37), <https://doi.org/10.1145/3272127.3275057> (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [41] Sillani F., Kleijnen R.G., Vetterli M., Schmid M., Wegener K., *Selective laser sintering and multi jet fusion: Process-induced modification of the raw materials and analyses of parts performance*, Additive Manufacturing 2019 (27), <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.02.004> (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [42] Slijvic M., Pavlovic A., Ilić J., Stanojevic M., *Sustainable Small Batch Reproduction via Additive Manufacturing and Vacuum Casting: The Case Study of a Rhinoceros Toy Figure*, 2017, https://doi.org/10.1007/978-3-319-57078-5_67 (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [43] *Software Art. Filament Sculptures. 3D Printed Sculpture 2014*, <https://www.liaworks.com/theprojects/filament-sculptures/> (data dostępu/access: 27.06.2022).
- [44] Stanić M., Lozo B., *Color and permanence issues in 3D ink-jet printing*, The 33rd International Convention MIPRO, 2010.
- [45] Takahashi H., Punpongson P., Kim J., *Programmable Filament. Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, New York, NY, USA: ACM 2020, <https://doi.org/10.1145/3379337.3415863> (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [46] Tiwari S.K., Pande S., Agrawal S., Bobade S.M., *Selection of selective laser sintering materials for different applications*, Rapid Prototyping Journal 2015 (21), <https://doi.org/10.1108/RPJ-03-2013-0027> (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [47] Tofail S.A.M., Koumoulos E.P., Bandyopadhyay A., Bose S., O'Donoghue L., Charitidis C., *Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities*, Materials Today 21 (1), 2018, <https://doi.org/10.1016/j.matod.2017.07.001> (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [48] Toure N., Visser M., *Although the technology is simple concept, it is evolutionary in what it offers*, Women in 3D Printing 2016, <https://womenin3dprinting.com/mary-visser-although-the-technology-is-simple-in-concept-it-is-evolutionary-in-what-it-offers/> (data dostępu/access: 27.06.2022).

- [49] Utěšená M., Pernicova R., *Technology of 3D Print in Field of Renovation of Architectural Structures and Historical Buildings*, Key Engineering Materials 2018 (776), <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.776.201> (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [50] Walters P., Huson D., Parraman C., Stanić M., *3D Printing in Colour: Technical evaluation and Creative Applications*, Impact 6 International Printmaking Conference, Bristol 2009.
- [51] Wortmann M., Frese N., *Industrial-scale vacuum casting with silicone molds: A review*, Applied Research 2022, <https://doi.org/10.1002/appl.202100012> (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [52] Yan X., Yuan J., Chen G., *Applications Analysis of Paper-Based Color 3D Printing in the Map Industry [w:] Applied Sciences in Graphic Communication and Packaging. Lecture Notes in Electrical Engineering*, Springer, Singapore 2018 (477), https://doi.org/10.1007/978-981-10-7629-9_46 (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [53] Yuan J., Chen C., Yao D., Chen G., *3D Printing of Oil Paintings Based on Material Jetting and Its Reduction of Staircase Effect*, Polymers, Basel 2020 (12), <https://doi.org/10.3390/polym12112536> (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [54] *ZBrush Documentation 2022*, <http://docs.pixologic.com/> (data dostępu/access: 27.06.2022).
- [55] Zhang F., Campbell R.I., Graham I.J., *Application of Additive Manufacturing to the Digital Restoration of Archaeological Artifacts*, Procedia Technology 2015 (20), <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2015.07.040> (data dostępu/access: 02.08.2022).
- [56] Zhu J., Liu W., *Art Design of Ceramic Sculpture Based on 3D Printing Technology and Electrochemistry*, Journal of Chemistry 2022, <https://doi.org/10.1155/2022/3190499> (data dostępu/access: 02.08.2022).





II.

**KREATYWNE KODOWANIE —
CREATIVE CODING**



1. Adam Abel, *Chrysalis Nonuniform*, 2021; technika: kreatywne kodowanie, druk 3D FDM; materiał: Tough PLA; wymiary: 23,10×25,97×21,45 cm
Adam Abel, *Chrysalis Nonuniform*, 2021; technique: creative coding, FDM 3D printing; material: Tough PLA; dimensions: 23.10×25.97×21.45 cm

W przedstawionym artykule Adam Abel wskazuje na potencjał technik kreatywnego kodowania i programowania, które w połączeniu z technologią druku 3D aktywują nowe obszary artystycznych eksploracji. W tym kontekście autor przedstawia genezę własnej aplikacji jako stopniową ewolucję kodu – od interaktywnej animacji do komputerowego narzędzia, wspomagającego algorytmiczne projektowanie jego prac. Abel eksponuje kilka kluczowych zagadnień, które leżą u źródeł budowanego przez niego kodu, a które odnoszą się do fenomenu ruchu i transformacji. Zwraca uwagę na specyficzną estetykę algorytmicznie generowanych form, która jest bezpośrednim następstwem operowania bazową strukturą medium cyfrowego.

Z perspektywy artysty pracującego w tworzywie ceramicznym autor odnosi się także do materiału jako istotnego czynnika wpływającego na finalny wyraz prac. Ten aspekt kieruje go w stronę zagadnień związanych z przełamywaniem szeregu ograniczeń wynikających ze stosowania narzędzi cyfrowych w konfrontacji z materią ceramiczną.

Słowa kluczowe: kreatywne kodowanie, druk 3D, sztuka ceramiki, rzeźba, projektowanie parametryczne

Kreatywne kodowanie – transformacja medium

— Adam Abel

**Wydział Ceramiki i Szkła
Akademia Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu**

adamabel@asp.wroc.pl

 <https://orcid.org/0000-0002-2404-8581>

Wiele osób fascynuje się nowymi możliwościami, jakie daje technologia druku 3D, postrzegając ją poprzez pryzmat urządzeń, przy pomocy których można zmaterializować dowolny trójwymiarowy kształt. Jednak w tym zachwycie umyka istotny fakt, że źródło twórczych możliwości nie tkwi w samym urządzeniu, a w oprogramowaniu, dzięki któremu można nie tylko wytworzyć cyfrowy model, ale również operować jego cyfrową strukturą jako medium. Już w 2011 roku Lev Manovich w eseju *Tylko software* zwrócił uwagę na uzależnienie osiągniętych rezultatów od funkcji, jakie udostępniane są użytkownikom aplikacji, które pośrednio narzucają zakres operacji możliwych do wykonania. Określając ten stan jako „uwięzienie w softwerze”, zachęcał artystów wizualnych do programowania własnych aplikacji, które umożliwiłyby wyjście poza narzędzia definiowane w programach, tworzonych przez innych [6, s. 82].

Ten postulat stał się dla mnie oczywisty dopiero w momencie, gdy doświadczyłem tych ograniczeń, szukając funkcji, które nie istniały, a które mogłyby ułatwić mi szereg wyobrażonych działań, wykraczających poza przyjęte schematy pracy z programami graficznymi. Traktując to jako przyczynę mojej przygody z programowaniem, odniosę się do autorskiej eksperymentalnej aplikacji, nad którą pracuję od kilku lat. Budowana jest ona w środowisku programistycznym Processing, a rozwinęła się z pomysłu stworzenia wirtualnej interaktywnej formy o transformującym się układzie i strukturze.

Jej pierwotna wersja, mająca postać animacji generatywnej, wyewoluowała w stronę komputerowego narzędzia, wspomagającego algorytmiczne projektowanie moich prac. Jednak ogólna geneza struktury aplikacji i powstałego kodu jest naturalną konsekwencją stosowanej przeze mnie praktyki artystycznej i związanych z nią eksperymentów.

Jako twórca poruszam się pomiędzy różnymi dyscyplinami, głównie są to obszary sztuki ceramiki i sztuki mediów cyfrowych, w których często nawiązuję do fenomenu ruchu i transformacji. Szukając odpowiedzi na pytanie przy pomocy jakich środków jestem w stanie ożywić i aktywować tworzone przeze mnie obiekty ceramiczne, początkowo sięgnąłem po narzędzia audiowizualne, używane przy pracy z animacją i wideo. Te z kolei skierowały mnie w rejony sztuki, gdzie obiekt traci swą substancjalność i staje się bardziej procesem niż stanem trwania.

Skupienie uwagi na procesie w konsekwencji doprowadziło mnie do traktowania formy jako potencjału możliwych transformacji, a nie statycznej raz na zawsze określonej kompozycji przestrzennej. W rezultacie, w moich ostatnich działaniach tradycyjne projektowanie formy ustąpiło miejsca projektowaniu procesów odpowiedzialnych za przekształcenia i ruch składowych elementów cyfrowej anatomii, z których budowany jest model i jego powierzchnia. To interesujące zagadnienie mogłem rozwinąć właśnie poprzez eksperymentowanie z technikami programowania. Szczególnie w tym obszarze, technologia druku 3D pozwoliła zmaterializować złożone wzory trójwymiarowych obiektów generowane przez zaprogramowane przeze mnie operacje.

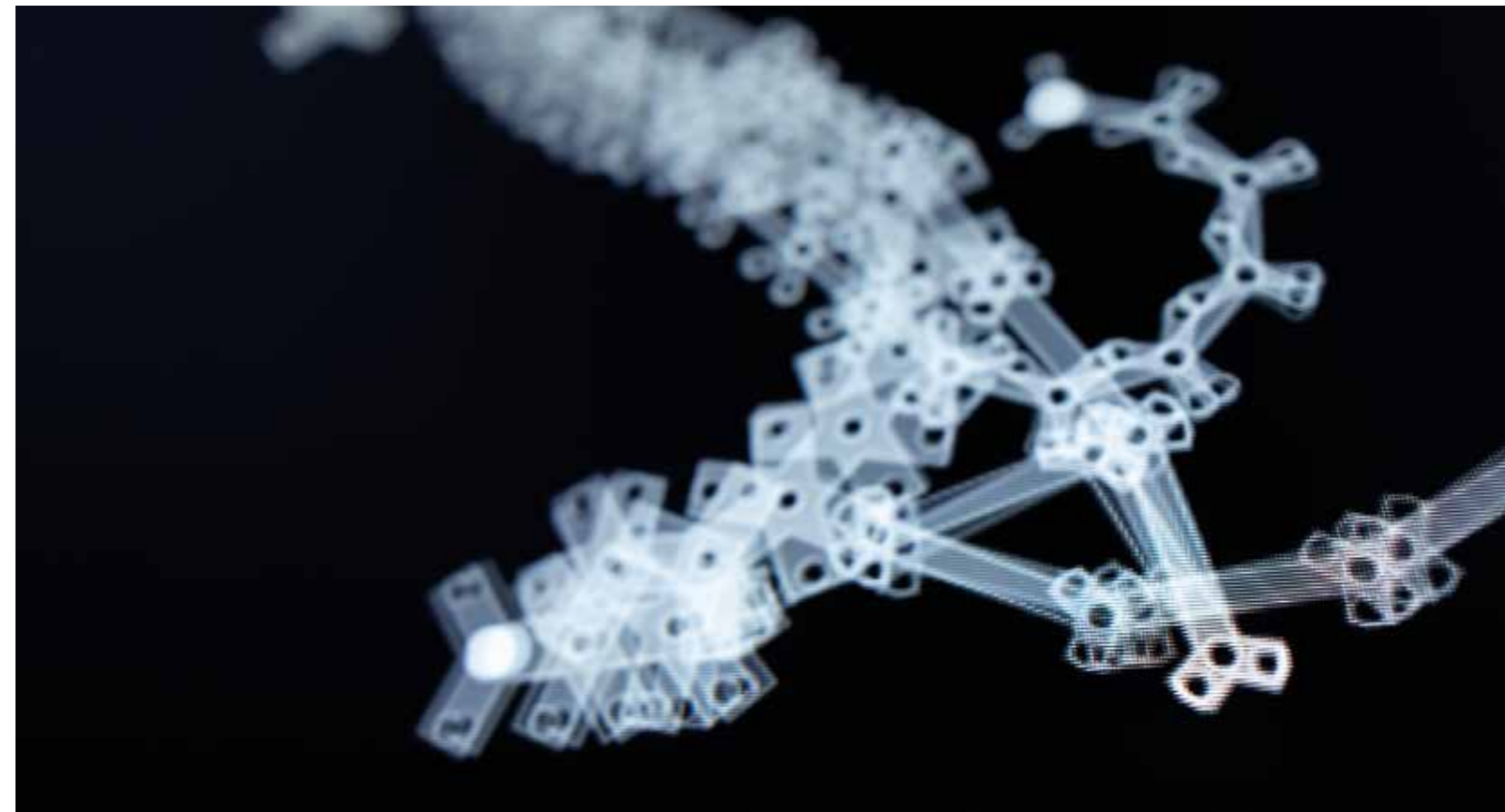
I choć rzeczą oczywistą jest, że bez urządzeń numerycznie kontrolowanych trudno byłoby precyzyjnie odtworzyć złożoność rytmów i detali wirtualnie wypracowanych struktur, to warto ponownie podkreślić, że nie samo urządzenie, a zawarty w autorskiej aplikacji kod tych operacji może stanowić istotne źródło kreatywnych rozwiązań.

Dzięki bezpośredniemu dostępowi do kodu własnej aplikacji, mogę nie tylko wytworzyć cyfrowy model, ale przede wszystkim algorytmicznie operować formacjami, budującymi go punktów. Programowalne przekształcenia ich współrzędnych, to operacje na czystych danych, które są właściwie istotą medium cyfrowego. Traktując te bazowe elementy jako składniki „tworzywa cyfrowego” siłą rzeczy buduję analogię do medium ceramicznego, z którym wiąże mnie wieloletnie artystyczne doświadczenie. W obu przypadkach dotarcie do bazowych składników „materii”, zrozumienie i świadome operowanie nimi poszerza możliwości odkrywania nowych rozwiązań zarówno estetycznych, jak i technicznych.

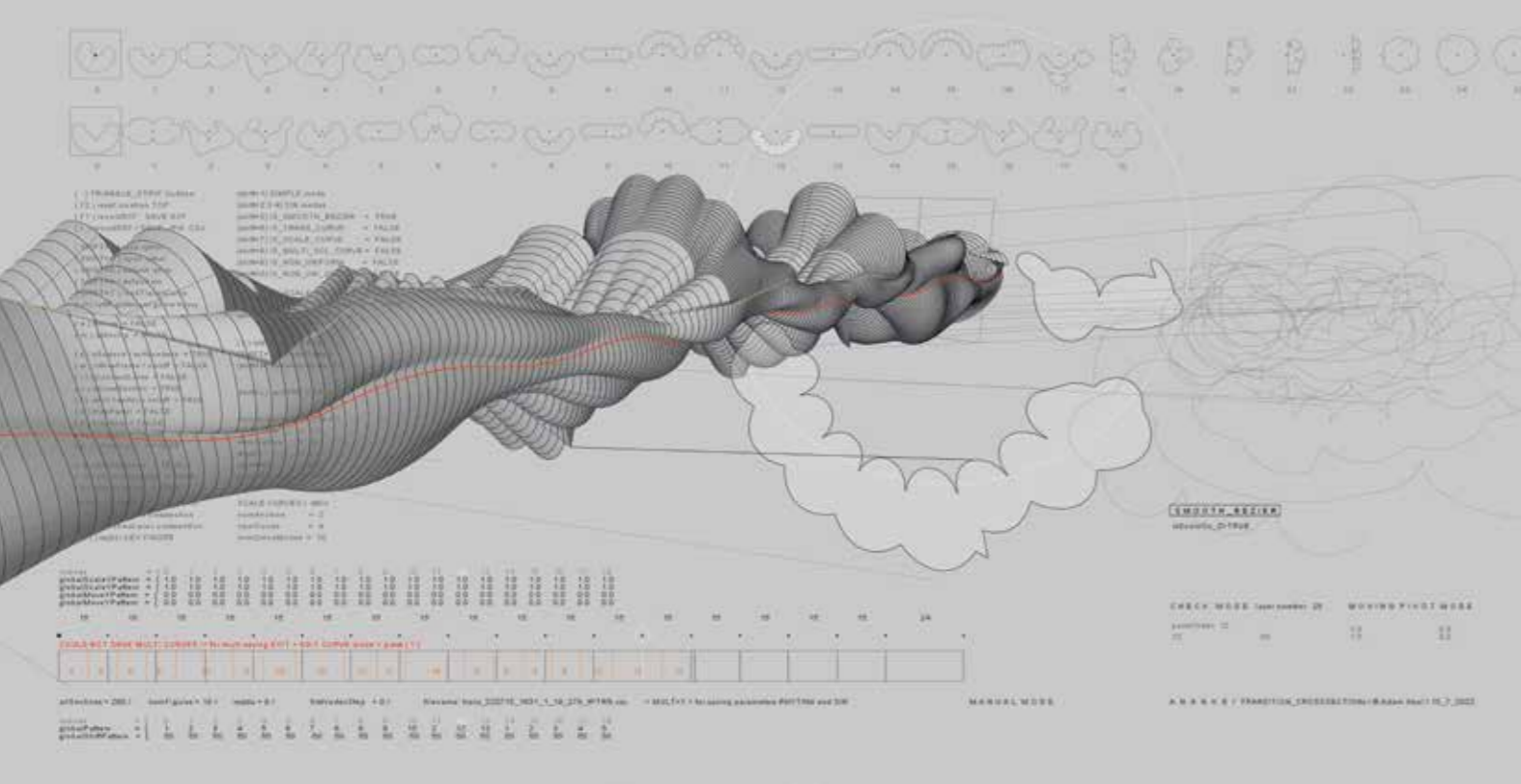
W przypadku autorskiego programu, w którym dowolnie mogę ingerować w kod własnych funkcji, ta numeryczna rzeczywistość kształtuje specyficzną estetykę, która jest wyraźnie wyeksponowana poprzez podkreślenie cech cyfrowej anatomii obiektów. Przykładowo, w pracy *Chrysallis Nonuniform* (il. 1) wyodrębniam pierwotny szkielet jej konstrukcji, stanowiący odbicie tworzącego go algorytmu. Jego mocne ślady, pozostawione na powierzchni, odsłaniają wewnętrzny mechanizm budowania formy, który z tysięcy punktów, krawędzi i przekrojów składa cyfrowy organizm, wpisany w formę pętli. W zależności od zestawu wprowadzanych do kodu parametrów, powstałe formacje mogą demaskować ich cyfrowe pochodzenie lub budować wrażenie naturalnie ukształtowanych. Takie właśnie biologiczne analogie przywołuje inna praca, zatytułowana *Chrysallis Fossil* (il. 2). W tym obiekcie te odniesienia są widoczne pomimo tego, że jego forma zbudowana jest z mechanizmów generowanych przez kod komputerowy.



2. Adam Abel, *Chrysallis Fossil*, 2021; technika: kreatywne kodowanie, druk 3D FDM; materiał: Tough PLA; wymiary: 19,28×26,58×25 cm
Adam Abel, *Chrysallis Fossil*, 2021; technique: creative coding, FDM 3D printing; material: Tough PLA; dimensions: 19.28×26.58×25 cm



3. Adam Abel, *Chain 02*, 2019; animacja generatywna. Źródło: A. Abel
Adam Abel, *Chain 02*, 2019; generative animation. Source: A. Abel



4. Adam Abel, *Transsections*, 2018; autorska interaktywna aplikacja (fragment interfejsu). Źródło: A. Abel
Adam Abel, *Transsections*, 2018; the author's simplified test application (part of the interface). Source: A. Abel



5. Adam Abel, *SinEGG* (detale), 2021; technika: kreatywne kodowanie, druk 3D; materiał: niewypalona masa kamionkowa
Adam Abel, *SinEGG* (details), 2021; technique: creative coding, 3D printing; material: unfired stoneware clay

Czy taki rezultat możemy uzyskać z użyciem komercyjnego oprogramowania, czy innego oprogramowania do modelowania 3D, które ma już z góry zdefiniowane funkcje zamknięte na możliwość programowania własnych operacji? Oczywiście, jest to możliwe. Niewątpliwie, programy te dostarczają ogromnego spektrum przydatnych i złożonych narzędzi do modelowania, ale biorąc pod uwagę programowalne operowanie bazową strukturą geometrii obiektu i bardzo indywidualne podejście do procesu pracy z cyfrowym medium, jest to zestaw mimo wszystko ograniczony. Szczególnie jeśli mocno uwydatnimy założenie, że istotą procesu twórczego nie jest odtworzenie jednej statycznej wersji modelu, a zaprogramowanie reguły oraz mechanizmu jej interaktywnego rozwoju i możliwych transformacji – kodu, który w zależności od wprowadzanych zestawów danych będzie wpływał na wariantowość generowanych form. Takie też jest źródło wykorzystywanej przeze mnie aplikacji, która ewoluowała z koncepcji opracowania prostego interaktywnie przeobrażającego się kształtu. Z punktu widzenia artysty, który przez kilka ostatnich lat kreatywnie i intuicyjnie eksperymentował z technikami programowania, uważam, że ta ewolucja jest jednym z bardziej istotnych aspektów, odpowiedzialnych za spersonalizowany charakter powstałego narzędzia, włączając w to jego zalety i ograniczenia.

Jaka jest zatem geneza omawianej aplikacji?

Początkowo nie planowałem budować jakiegokolwiek aplikacji, tym bardziej wspomagającej projektowanie parametryczne tworzonych przeze mnie obiektów. Moim pierwotnym zamiarem było zbudowanie dwuwymiarowego animowanego kształtu, który w czasie rzeczywistym losowo modyfikowałby swój ruch lub reagował na sygnały albo dane z zewnątrz. Zamierzenie to realizowałem w ramach innego multimedialnego projektu, próbując zastąpić stosowane dotychczas powtarzalne pętle animacji bardziej naturalnym sposobem ich nieprzerwanego odtwarzania w czasie. Wrażenie, jakie chciałem osiągnąć, wiązało się z nadaniem pewnej niezależności i nieprzewidywalności animowanym formom, pośrednio nawiązując do losowości zmian pojawiających się w naszym otoczeniu. By osiągnąć ten cel, skierowałem się w stronę technik programowania. Pierwsze eksperymenty, związane z interaktywnymi animacjami, realizowałem w programie Adobe Flash¹. Obecnie już nieistniejąca aplikacja, którą do tej pory wykorzystywałem tylko do tworzenia animacji wektorowych i autorskiej strony internetowej, miała duże możliwości programistyczne. Te możliwości bezpośrednio wynikały ze stosowanego na platformie Adobe Flash obiektowo zorientowanego języka programowania Action Script 3.0 [9, s. 19-34].

Istotne znaczenie miało to, że Action Script 3.0 mógł wykorzystywać treści tworzone przez Adobe Flash, takie jak animacje czy graficzne elementy, zagnieżdżone w symbolach z biblioteki programu w tzw. klipach filmowych, których instancje mogły być programowalne. Początkowo ten hybrydowy sposób eksperymentowania, polegający na łączeniu wcześniej przygotowanych animacji z wycinkami kodu, umożliwił zrozumienie podstawowych mechanizmów budowania interakcji. Jednak ta formuła szybko się wyczerpała, gdyż uniemożliwiała bardziej rozbudowane interaktywne metamorfozy kształtów w czasie rzeczywistym.

Tym samym – nieodzownym stało się całkowite przejście w obiektowo zorientowane środowisko programistyczne, które dawało mi możliwość projektowania parametrycznych figur i ich cyfrowej anatomii jako Klas². W nich definiowałem kod odpowie-

1 Adobe Flash był popularną platformą do tworzenia aplikacji internetowych, szczególnie stron www, które charakteryzowały się graficznym i multimedialnym bogactwem animowanych elementów. Po 31 grudnia 2020 roku firma Adobe zaprzestała obsługi Adobe Flash Player, powiązanej z tym programem wtyczki do przeglądarek internetowych, będącej jednocześnie odtwarzaczem animacji. Tym samym zakończyła się era tej webowej technologii.
2 Pojęcie Klasy jest ściśle związane z programowaniem obiektowym (object-oriented programming OOP). W bardzo dużym uproszczeniu Klasa zawiera kod, który definiuje dane i operacje jej przypisane. Jest szablonem do tworzenia różnych jej instancji w tworzonym programie. Instancje tych klas nazywane są obiektami.

działny za kreślenie i właściwości różnych wielokątów. Wariacyjność proporcji, koloru czy ruchu zależała od zestawu zmiennych, wprowadzanych do zawartej w kodzie procedury rozmieszczania, łączenia i poruszania punktów, składających się na wygląd figury. Zaprojektowany w ten sposób kształt był otwarty na szereg możliwych interakcji tych kilku zmiennych. Łączenie go w złożone formacje poszerzały zakres możliwych do uzyskania wariacji kompozycji, a przy zmianie parametrów pojedynczego segmentu, zmieniał się również ich charakter (z geometrycznego na bardziej organiczny). Opisany kodem moduł dodatkowo umożliwiał jego automatyczne animowanie i stosowanie podstawowych równań kinematyki. Generowane cykle zmian były niepowtarzalne, następowały pod wpływem losowo dobieranych parametrów, związanych z prędkością i kierunkiem ruchu³. Na tej podstawie powstał późniejszy cykl animacji generatywnych, w tym *White Bone Machine* czy *Chain*, które przyjęły formę poruszających się mechaniczno-organicznymi formacji (il. 3).

Pomimo że zastosowane techniki zawężone były do działań dwuwymiarowych, to uzyskana wiedza, związana z podstawami programowania, stała się bazą do rozwinięcia koncepcji interaktywnej formy w trójwymiarowym modelu przestrzeni. Jednak ograniczony zestaw zastosowań języka ActionScript 3.0 oraz informacje dotyczące wycofania z użycia powiązanej z nim technologii Flash, skłoniły mnie do poszukiwań innej platformy [2]. Jako alternatywę wybrałem zintegrowane środowisko programistyczne o nazwie Processing. W nim stosowane są między innymi uproszczone konstrukcje programowania w języku Java, a co najważniejsze umożliwia ono natychmiastowy podgląd rezultatów, jaki generuje kod tworzonego programu [4].

Korzystając ze zdefiniowanego w tym środowisku trójwymiarowego układu współrzędnych, opracowałem prosty schemat przekształcenia dwuwymiarowej figury w model przestrzenny. W tym przypadku kod figury wprowadziłem jako powielany przekrój, z którego składana była wirtualna forma. Skomplikowane zagadnienia geometrycznych transformacji w trójwymiarowej przestrzeni oparłem zarówno na gotowych funkcjach macierzy transformacji, wbudowanych w to środowisko, jak i geometrycznych wzorach przekształceń punktów w przestrzeni 3D, które zaimplementowałem do powstającego kodu⁴. W efekcie – stworzyłem mój pierwszy interaktywny model transformującego się układu przestrzennego.

Czynniki, wpływające na zmiany całej formy, były związane zarówno z parametrami pojedynczego przekroju, jak i ich orientacją względem siebie oraz kilkoma parametrami odpowiedzialnymi za modyfikacje proporcji jej ogólnego układu. Zawarta w tej konstrukcji koncepcja przejścia pomiędzy kluczowymi klatkami obrotu przekroju obiektu była na tyle interesująca, że zdecydowałem, aby wybraną fazę ruchu potraktować jako punkt odniesienia i spróbowałem odtworzyć ją w rzeczywistym materiale.

W roku 2017, nie mając jeszcze dostępu do urządzeń numerycznie kontrolowanych, wykorzystałem stosowaną przeze mnie w innych projektach ręczną metodę odwzorowania modelu cyfrowego w styropianie. Polegała ona na cięciu na gorąco tego materiału z użyciem szablonów, tak by w efekcie uzyskać pozytywny model, jednocześnie pozostawiając jego negatywowe części pomocne przy jego transferze w tworzywo ceramiczne.

Odnosząc się do tego sposobu fabrykacji, do kodu wprowadziłem funkcję, która generując przekroje, rozkłada cyfrową formę na dwuwymiarowe szablony, wspomagające powyższy proces.

³ Wspomniane techniki programowania obiektowego w Action Script 3.0 opisane zostały przez Keitha Petersa w książce *Foundation ActionScript Animation: Making Things Move!* wydanej w 2007 roku.

⁴ Częściowo stosowałem techniki programowania transformacji 3D, opisane przez Ire Greenberga w książce *Processing: Creative Coding and Computational Art*, wydanej w 2007 roku.



6. Adam Abel, *Nonuniform A* (detail), 2020; technika: kreatywne kodowanie, druk 3D; materiał: porcelana Parian, temp. wypału 1250°C; wymiary: 14×36×14 cm

Adam Abel, *NonUniform A* (detail), 2020; technique: creative coding, 3D printing; material: parian porcelain, oxidation firing at 1250°C; dimensions: 14×36×14 cm

Dodanie do kodu funkcji właściwie użytkowej zapoczątkowało proces przekształcania interaktywnego modelu w aplikację wspomagającą projektowanie.

W dalszych etapach jej rozwoju, część opracowywanego interfejsu programu dostosowana zostanie do podstawowych specyfikacji wykorzystywanego przeze mnie urządzenia drukującego masami ceramicznymi.

Rezultat dotychczasowych działań wskazywał na podstawowe obszary ograniczeń: a) ograniczenia związane z limitem wariantów formy możliwych do uzyskania poprzez stosowanie opracowanego przeze mnie kodu

b) ograniczenia wynikające z wybranego sposobu fabrykacji. O ile przy wspomnianej wyżej technice odwzorowywania wirtualnej formy w tworzywie ceramicznym obiekt zyskałby dodatkowe walory fakturalne, to niestety – osiągnięty rezultat byłby nieadekwatny do dużej ilości czasu, jaki należałoby spędzić nad przygotowaniem całego procesu. Dodatkowo, w odniesieniu do ceramiki otwartą kwestią pozostała zasadność takiego działania przy rozważaniu pytania, czy całkowicie manualne wykonanie unikatowej formy o dość przewidywalnej geometrii nie byłoby bardziej efektywne.

Aby przełamać to pierwsze ograniczenie, stopniowo rozbudowywałem program o funkcje i algorytmy wprowadzające nowe rozwiązania estetyczne w generowanych

strukturach, co wiązało się również z aktualizowaniem mojej wiedzy, dotyczącej technik programowania i intuicyjnym eksperymentowaniem z samym kodem.

W związku z tym, że zagadnienia programowania geometrii w trójwymiarowym układzie współrzędnych okazały się, według mnie, procesem złożonym, eksperymenty na tym polu rozłożyłem na 3 obszary, związane z trzema rodzajami układów współrzędnych: dwuwymiarowym, trójwymiarowym cylindrycznym i trójwymiarowym kartezjańskim.

W dwuwymiarowym układzie współrzędnych, projektowałem i testowałem proste operacje, odpowiedzialne za konstruowanie przekrojów, będących bazą do budowania docelowej siatki obiektu. W miarę poszerzania programu o algorytmy odpowiedzialne za różnorodność uzyskiwanych figur, rozbudowywałem interfejs, ułatwiający interaktywne wprowadzanie danych podczas odtwarzania programu. W efekcie, z testowego kodu rozwinęła się bardziej złożona aplikacja, generująca dwuwymiarowe formy. Obok różnych funkcjonalności, których opis znacznie by wykroczył poza zakres tego opracowania, kluczowym elementem w tym obszarze było wprowadzenie do kodu parametrycznego równania krzywej Beziera i zrozumienie mechanizmu jej działania [1].

Krzywe Beziera są powszechnie stosowane w programach do tworzenia grafiki wektorowej. W celu ułatwienia pracy interaktywnej użytkownika, manipulacje krzywą ograniczają się do operowania czterema punktami kontrolnymi, od których zależy jej przebieg. W tego typu oprogramowaniu dojście do współrzędnych wszystkich interpolowanych punktów krzywej jest zazwyczaj zamknięte. Jednak w przypadku podjętych przeze mnie działań opcje generowania wszystkich punktów i niezależne operowanie nimi stały się kluczowe w budowaniu siatki obiektu o miękkim, organicznym charakterze. Ponadto, dostęp do nich oraz możliwość zapisu ich współrzędnych umożliwia dalsze algorytmiczne modyfikacje uzyskiwanych formacji.

Drugi obszar eksperymentów wiązał się z programowaniem w trójwymiarowym układzie współrzędnych cylindrycznych. Tu importowałem wcześniej opracowany kod, odpowiedzialny za kreślenie przekrojów. Testowałem sposoby ich interpolacji pod kątem konstruowania trójwymiarowego modelu. Korzystając z prostej jednokierunkowej orientacji cylindrycznej formy, przygotowywałem algorytmy transformujące siatkę powierzchni i analizowałem jej poprawność (il. 4).

W trzecim, najważniejszym obszarze, implementowałem wcześniej przetestowane operacje i opracowane kształty w bardziej złożony wielokierunkowy układ przestrzenny kompozycji. Wówczas gdy zdecydowałem się na materializację wybranej fazy transformacji w tworzywie ceramicznym, idealnym rozwiązaniem wydawało się zastosowanie technologii druku 3D, która będzie w stanie wydobyć wszystkie subtelności numerycznych operacji. Jednak i tu pojawiła się druga istotna kwestia, dotycząca ograniczeń wynikających z wybranego sposobu fabrykacji, od których nie jest wolna żadna nowa technologia. W przypadku druku masami ceramicznymi, napotkałem na ograniczenia, wynikające zarówno ze specyfikacji samego urządzenia, jak i ograniczeń dotyczących składu i konsystencji stosowanej masy ceramicznej. W wykorzystywanym do tej pory urządzeniu⁵, w którym nie ma opcji wprowadzania podpór, możliwość druku plastyczną masą ceramiczną jest zawężona do form wertykalnych, których środek ciężkości nie wykracza poza obrys podstawy. Ograniczeniu podlega również kąt nachylenia ścianki do płaszczyzny podstawy. Ogólnie rzecz ujmując, na ich brzegowe wartości wpływa skala, geometria formy oraz konsystencja i skład masy ceramicznej, jak również wiele innych czynników, podporządkowanych procesom formowania, suszenia i wypalania ceramiki [8].

⁵ Drukarka, z jakiej korzystałem w trakcie eksperymentowania z drukiem masami ceramicznymi, to polskie urządzenie o nazwie GAJA 3D multitool, zaprojektowane przez Janusza Wójcika i Pawła Rokitę.

Aby kreatywnie przezwyciężyć te utrudnienia, w pierwszej kolejności przygotowałem uproszczoną aplikację, ułatwiającą szybkie testowanie granicznych wartości w odniesieniu do algorytmicznie projektowanych obiektów i ich estetyki. Zaadaptowałem rozwiązania, wypracowane przeze mnie w drugim obszarze, związanym z programowaniem w trójwymiarowym układzie współrzędnych cylindrycznych i dostosowałem niektóre funkcje do podstawowych możliwości urządzenia. W pierwszych testach skoncentrowałem się na jednokierunkowym układzie form, podporządkowanym wertykalnej osi urządzenia. W tej uproszczonej konfiguracji mogłem sprawdzać wpływ wprowadzonych parametrów na strukturę powierzchni i analizować poprawność uzyskiwanej siatki modelu. A w połączeniu z procesem druku testowałem skrajne wartości generowanej geometrii dla określonego składu i konsystencji masy ceramicznej. W przypadku druku masami ceramicznymi, wyjście poza wartości akceptowalne w tej technologii skutkowało pojawieniem się interesujących aberracji powierzchni, które wzbogacają estetykę druku (il. 5).

Dostrzegając potencjał tych hybrydowych działań, poszerzyłem aplikację testującą o dalsze funkcjonalności, rozbudowując jednocześnie jej interfejs. Między innymi wprowadziłem algorytmy oparte na funkcjach trygonometrycznych, które mogą umownie odzwierciedlać fale dźwiękowe czy drgania. Dość intuicyjnie powiązane ze sobą funkcje przyjmują szereg zmiennych, od których zależy sposób, w jaki zaburzana jest powierzchnia obiektu. Na bazie tego kodu powstała seria obiektów z cyklu *sinEGG*. Z kolei, efekt uzyskany w obiektach z cyklu *Nonuniform* (il. 6) wynika z procedury, która miesza i zaburza czysty, symetryczny i jednostajny rytm przekrojów wirtualnego modelu. Pojawiające się aberracje powierzchni są wynikiem przemieszczeń cyfrowej siatki wzorca obiektu. W tym przypadku manipulowanie zestawami danych wpływa na mniej lub bardziej organiczny charakter form, a uzyskiwany efekt może być w dużym zakresie ukierunkowany. By kontrolować interfejs i rosnącą liczbę zmiennych, skorzystałem z zewnętrznej biblioteki kontrolerów *controlP5*, zaprojektowanej przez Andreasa Schlegela [5], dzięki czemu wygodnie mogłem wiązać zmienne ze sliderami czy polami wprowadzania danych. Znacząco ułatwiło to obserwacje wpływu wprowadzanych wartości numerycznych na uzyskiwany rezultat.

W celu interaktywnego korygowania generowanych form (a może też z podświadomej tęsknoty za ręczną pracą w tworzywie), opracowałem kod modyfikatorów elastycznie skalujących siatkę modelu. Do realizacji tego zadania ponownie wykorzystałem krzywą Beziera, tym razem w postaci matematycznego równania trzeciego stopnia. Interaktywna krzywa, w moim kodzie, jest substytutem dotyku, została wprowadzona jako element interfejsu i służy do „pseudomanualnych” modyfikacji krzywizn powierzchni. Tym samym, umożliwia mi wprowadzenie czynnika intuicyjnego do procesu parametrycznych transformacji. Przykładem pracy ceramicznej, która w przeważającej części została zaprojektowana z zastosowaniem elastycznej modyfikacji „krzywych skalowania”, jest obiekt *Pleasure* (il. 7).

Przełamanie innych ograniczeń – związanych z możliwością do uzyskania w tej technologii geometrię, czyli wyjście poza układ wertykalny formy – wiązało się z podziałem cyfrowego modelu na części, drukiem osobnych komponentów i opracowaniem sposobu ich łączenia. Zastosowana procedura montażu łączyła techniki cyfrowe z tradycyjnymi metodami pracy z tworzywem ceramicznym. Wykorzystałem ją po raz pierwszy podczas realizacji pracy *Ananke* (il. 8). Techniczne utrudnienia, jakie ujawniły się na poszczególnych etapach budowania tego obiektu, zainicjowały kolejne modyfikacje.

Jednym z praktycznych udogodnień, wprowadzonych do aplikacji pod kątem fabrykacji wielokierunkowych obiektów, była możliwość interaktywnego podziału formy na osobne komponenty już z poziomu interfejsu programu oraz niezależny eksport poszczególnych części. Znacząco ułatwiało to wstępne przygotowanie fragmentów formy do druku.

W odróżnieniu od procesu fabrykacji samych modułów, poszczególne etapy ich manualnego montażu są bardzo wymagające i czasochłonne ze względu na to, że glina – pod wpływem utraty wilgoci – kurczy się, zmieniając swoją objętość. Ten proces może wywoływać naprężenia, deformacje a w najgorszym wypadku pęknięcia. Aby kontrolować te zmiany, należy kontrolować proces suszenia, w tym przypadku w sposób równomierny spowalniać utratę wilgoci z elementów, które utraciły część swojej plastyczności [8].

Dodatkowo, w trakcie montażu manipulowanie surowymi modułami o bogatej drukowanej fakturze jest procesem dość karkołomnym ze względu na podatność tego materiału na deformacje i pęknięcia. Stopień możliwych uszkodzeń niewypalonego modułu zależy także od grubości ścianek obiektu i poziomu ich wilgotności. Zastosowany przeze mnie system podpór, unieruchamia już połączone ze sobą części obiektu, ograniczając ryzyko pęknięć w czasie ręcznego montażu kolejnych elementów. Właściwie przygotowana konstrukcja umożliwia zarówno bezpieczne suszenie, jak i wypał obiektu (il. 9).

Opisaną powyżej procedurę zastosowałem w obiekcie ceramicznym *Cyberboros* (il. 10), który był częścią multimedialnej instalacji o tej samej nazwie. Koncepcję transformującego się medium podkreśliłem poprzez wprowadzenie do kompozycji przestrzennej animacji przeobrażającego się obiektu, która generowana była bezpośrednio z poziomu aplikacji. Projekt ten łączy w sobie dwa pozornie przeciwstawne światy: materialny – bazujący na tworzywie plastycznym, i cyfrowy, w którym poprzez matematyczne i geometryczne operacje koduję precyzyjnie powtarzalne rytmy drobnych zmian, budujących cielesną tkankę pracy.

Obecny kształt aplikacji i uzyskiwane rezultaty są efektem kilkuletnich eksperymentów w obszarze łączącym dwie odległe dyscypliny. W tym czasie szkic interaktywnej formy ewoluował do prototypu programu wzbogaconego o szereg praktycznych udogodnień. Dotyczą one zarówno kluczowych kwestii, związanych z interaktywnym operowaniem danymi, które mają wpływ na charakter i estetykę algorytmicznie projektowanych obiektów, jak również funkcjonalności ukierunkowanej na stosowaną metodę fabrykacji.

Pomimo tego – że na obecnym etapie możliwe do uzyskania układy przestrzenne zawierają się w ściśle zdefiniowanym i spersonalizowanym zakresie – przetestowane rozwiązania mają teoretycznie nieograniczony zakres działań strukturalnych, wynikających z cech medium cyfrowego. Bez wątpienia – wprowadzenie technik programowania do arsenału narzędzi, z jakich może korzystać artysta – daje szansę wykorzystania prawdziwego potencjału technologii cyfrowych.



7. Adam Abel, *Pleasure*, 2021; technika: kreatywne kodowanie, druk 3D; materiał: mieszanka mas kamionkowych, temp. wypału 1200°C; wymiary: 52×18×17 cm
Adam Abel, *Pleasure*, 2021; technique: creative coding, 3D printing; material: stoneware, oxidation firing at 1200°C; dimensions: 52×18×17 cm



8. Adam Abel, *Ananke*, 2018; technika: kreatywne kodowanie, druk 3D; materiał: masa ceramiczna z palonką, temp. wypału 1200°C (redukcja); wymiary: 70×45×44 cm
Adam Abel, *Ananke*, 2018; technique: creative coding, 3D printing; material: grogged stoneware, reduction firing at 1200°C; dimensions: 70×45×44 cm



9. Adam Abel, *Cyberboros*, praca w procesie
Adam Abel, *Cyberboros*, work in process



10. Adam Abel, *Cyberboros*, 2020; technika: kreatywne kodowanie, druk 3D; materiał: mieszanka mas ceramicznych, temp. wypalu 1150°C; wymiary: 30×69×28 cm

Adam Abel, *Cyberboros*, 2020; technique: creative coding, 3D printing; material: earthenware, oxidation firing at 1150°C; dimensions: 30×69×28 cm

In this article Adam Abel points out the potential of creative coding and programming, which, in combination with 3D printing technology are able to activate a new areas of artistic explorations. In this context, the author presents the genesis of his computer application as a gradual evolution of the code - from interactive animation to personal app used for algorithmic design of his works. Abel exposes a few key issues which lie at the source of the code developed by him and originated from the phenomenon of motion and transformation. He emphasizes the characteristic aesthetic of the objects generated in the algorithmic way which is a direct consequence of manipulation the basic structure of the digital medium. From the point of view of the artist and ceramicist the author also refers to the material as a one of the important factors affecting the final expression of the works. In this regard he is pointing out the issue of overcoming the limitations of ceramic matter in confrontation with digital tools.


Keywords: creative coding, 3D print, ceramic art, sculpture, parametric design

Creative coding - transformations of the medium

— Adam Abel

Faculty of Ceramics and Glass
The Eugeniusz Geppert Academy of Art and Design in Wrocław

adamabel@asp.wroc.pl

 <https://orcid.org/0000-0002-2404-8581>

Many people are fascinated by the new possibilities offered by 3D printing technology, viewing it through the perspective of devices with which any three-dimensional shape can be materialised. However, this admiration overlooks the important fact that the source of the creative possibilities lies not in the device itself, but in the creative intervention in the software code, which allows one not only to produce a digital model, but also to operate its digital structure as a medium. Back in 2011, Lev Manovich, in his essay *There is Only Software*, pointed out the fact that the results achieved depend on the functions that are made available to the users of the application, which indirectly dictate the range of operations that can be performed. Describing this condition as being 'trapped in softwares', he encouraged visual artists to program their own applications that would allow them to go beyond the tools defined in the programmes created by others [6, p. 82].

This claim only became apparent to me when I personally experienced these limitations while looking for functions that did not exist, but which could be used to facilitate a range of envisioned activities beyond the accepted patterns of working with graphical programs. Taking this as the primary reason for my programming adventure, I will refer to an original experimental application that I have been working on for several years. It is built in a programming environment called Processing and developed from the idea of creating a virtual interactive form with a transforming layout and structure. Its initial version which had the form of a generative animation evolved into a computer tool to support the algorithmic design of my work. However, the overall genesis of the structure of the app and the resulting code is a natural consequence of my artistic practice and related experiments.

As an artist, I navigate between different disciplines, mainly the areas of ceramic art and digital media art, where I frequently refer to the phenomenon of movement and transformation. While searching for an answer to the question of what means I can use to animate and activate the ceramic objects I create, I initially reached for the audiovisual tools used to work with animation and video. These led me into areas of art where the object loses its substantiality and becomes more of a process than a state of being.

Focusing on the process has consequently led me to treat form as a potential for possible transformations, rather than the static defined spatial composition. As a result, in my recent work, the traditional design of form has given way to the design of the processes responsible for the transformations and movement of the constituent elements of digital anatomy from which the model and its surface are constructed. I have been able to develop this interesting subject by experimenting with programming techniques. Particularly in this area, 3D printing technology has made it possible to materialise the complex patterns of three-dimensional objects generated by the actions I have programmed. And while it goes without saying that without numerically controlled devices it would be difficult to precisely reproduce the complexity of the rhythms and details of the virtually worked-out structures, it is worth emphasising again that it is not the device itself, but the code of these operations contained in the author's app, that can provide an important source of creative solutions.

Thanks to direct access to the code of my own application, I can not only produce a digital model, but first and foremost I can algorithmically manipulate the formations of the points that build it. Programmable transformations of their coordinates are operations on pure data, which are actually the essence of the digital medium. By treating these base elements as components of 'digital material', I automatically build an analogy with the ceramic medium, something with which I have been involved for many years of my artistic experience. In both cases, reaching the basic components of 'matter', understanding and consciously operating on them expands the possibilities of discovering new solutions both aesthetically and technically.

In the case of the author's programme, where I am free to interfere with the code of my own functions, this numerical reality shapes a specific aesthetic, which is clearly exposed by emphasising the features of the digital anatomy of the objects. For example, in the work *Chrysallis Nonuniform* (Fig. 1), I distinguish the original skeleton of its construction as a reflection of the algorithm that creates it. Its strong marks left on the surface unveil the internal mechanism of form-building, which builds a digital organism inscribed in the form of a loop from thousands of points, edges and sections. Depending on the set of parameters entered into the code, the resulting formations can expose their digital origins or build up the impression of being naturally shaped. Another work entitled *Chrysallis Fossil* (Fig. 2) evokes just such biological analogies. In this object, these references are evident despite the fact that its form is based on mechanisms generated by a computer code.

Can we achieve such a result with a commercial software or any other software for 3D modelling, which has already predefined functions closed to the possibility of programming our own operations? Of course, it is possible. Undoubtedly, these programmes provide a huge spectrum of useful and complex modelling tools. But given the programmable operation of the underlying structure of the object's geometry and the highly customised approach to the process of working with the digital medium, it is a limited setup, nonetheless. Particularly if we strongly highlight the assumption that the essence of the creative process is not to reproduce a single static version of the model, but to program a rule and a mechanism for its interactive

development and possible transformations. In other words, a code that, depending on the input data sets, will influence the variation of the generated forms. This is also the origin of the application I have been using, which evolved from the concept of developing a simple interactive transformable shape. From the perspective of an artist who has spent the last few years creatively and intuitively experimenting with programming techniques, I feel that this evolution is one of the more important aspects responsible for the personalised nature of the developed tool including its advantages and limitations.

Then what is the origin of this application?

Initially, I did not plan to create any application, let alone one that would support the parametric design of the objects I was creating. My original intention was to build a two-dimensional animated shape that would randomly modify its movement in real time or respond to external signals or data. I pursued this intention as part of another multimedia project in an attempt to replace the usual repetitive animation loops with a more natural way of playing them continuously over time. The impression I wanted to achieve was to give a certain independence and unpredictability to the animated forms, indirectly alluding to the randomness of changes occurring in our environment. To achieve this goal, I turned to programming techniques. I carried out my first experiments with interactive animations in Adobe Flash¹. The no longer existing application had great programming possibilities, which I had previously only used to create vector animations and my own website. These capabilities were a direct result of the object-oriented programming language Action Script 3.0 used on the Adobe Flash platform [9, pp. 19-34].

What was important was that Action Script 3.0 could use content created by Adobe Flash such as animations or graphical elements embedded in symbols from the program's library in so-called movie clips, which instances could be programmable. At the beginning, this hybrid way of experimenting by combining pre-prepared animations with code snippets made it possible to understand the basic mechanisms of interaction building. However, this formula quickly wore out as it made it impossible to have more elaborate interactive metamorphoses of shapes in real time.

This made it inevitable to move completely into an object-oriented programming environment, which gave me the opportunity to design parametric figures and their digital anatomy as Classes². Within them, I defined the code responsible for the drawing and properties of the various polygons. The variations in proportion, colour or movement depended on a set of variables entered into the procedure contained in the code for placing, connecting and moving the points that make up the appearance of the figure. A shape designed in this way was open to a range of possible interactions based on these few variables. Combining it into complex formations extended the range of possible variations of the composition, and when the parameters of a single segment were changed, their character (from geometric to more organic) would also change. In addition, the module described by the code allowed its automatic animation and the application of the basic equations of kinematics. The generated cycles of change were unique, occurring under the influence of randomly selected parameters related to speed and direction of movement³. This was the

1 Adobe Flash was a popular platform used to develop web applications especially websites, which were characterised by graphic and multimedia richness of animated elements. After 31 December 2020, Adobe discontinued support for Adobe Flash Player, the associated web browser plug-in that is also an animation player. This marked the end of an era for this web-based technology.

2 The concept of Class is closely related to object-oriented programming (OOP). To put it very simply, a Class contains a code that defines the data and operations assigned to it. It is a template for creating different instances of it in the program being developed. The instances of these classes are called objects.

3 These object-oriented programming techniques in Action Script 3.0 were described by Keith Peters in his book *Foundation ActionScript Animation: Making Things Move!* published in 2007.

basis for a later series of generative animations, including *White Bone Machine*, or *Chain*, which took the form of moving mechanical-organic formations (Fig. 3).

Even though the applied techniques were narrowed down to two-dimensional actions, the knowledge I acquired related to programming basics became the foundation for developing the concept of an interactive form in a three-dimensional space model. However, the limited set of applications of the ActionScript 3.0 language and the information about the withdrawal of the related Flash technology, led me to look for another platform [2]. As an alternative, I chose an integrated development environment called Processing. It uses, among other things, simplified Java programming constructs and, most importantly, allows an immediate preview of the results that the code of the program being created generates [4].

Using the three-dimensional coordinate system defined in this environment, I developed a simple scheme to transform a two-dimensional figure into a spatial model. In this case, I entered the figure code as a duplicated section from which the virtual form was assembled. I based the complicated issues of geometric transformations in three-dimensional space on both the ready-to-use transformation matrix functions built into this environment and the geometric formulas for transforming points in 3D space, which I implemented into the resulting code⁴. As a result, I created my first interactive model of a transforming spatial system.

The factors influencing the changes of the whole form were related to both the parameters of a single section and their orientation relative to each other, as well as several parameters responsible for modifying the proportions of its overall layout. The idea of transitions between key frames of the object's cross-sectional rotation contained in this design was so interesting that I decided to take the selected phase of movement as a reference point and tried to reproduce it in the real material.

In 2017, I did not yet have access to numerically controlled equipment, and I used a manual method of reproducing a digital model in styrofoam, which I have used in other projects. Essentially, this method was based on hot cutting this material using templates, so as to produce a positive model while leaving the negative parts of the model to assist in its transfer into the ceramic material.

Referring to this method of fabrication, I introduced a function into the code which, based on the generated cross-sections, decomposes the digital object into two-dimensional templates supporting the above process. By adding a usable function to the code, the process of transforming the interactive model into a design support application began. In the further stages of its development, part of the programme interface under development will be adapted to the basic specifications of the 3D printing machine I am using.

The outcome so far, indicated two main areas of constraint:

- (a) limitations associated with the limit of form variants possible to achieve with the code I created, and
- (b) limitations due to the chosen method of fabrication. While with the previously mentioned technique of reproducing a virtual form in ceramic material the object would gain additional textural qualities, unfortunately the result achieved would be inadequate for the large amount of time that would need to be spent on the preparation of the entire process. In addition, with regard to ceramics, the validity of such an action remained an open question when considering the question of whether it would not have been more efficient to completely manually produce a unique form with a fairly predictable geometry.

⁴ I have partially relied on the 3D transformation programming techniques described by Ire Greenberg in his book: *Processing: Creative Coding and Computational Art* published in 2007.

In order to overcome this first limitation, I gradually extended the programme with functions and algorithms introducing new aesthetic solutions in the generated structures, which also entailed updating my knowledge of programming techniques and intuitive experimentation with the code itself. Given that the issues of programming geometry in a three-dimensional coordinate system proved to be a complex process for me, I spread my experiments in this field over 3 areas related to three types of coordinate systems: two-dimensional, three-dimensional cylindrical and three-dimensional Cartesian.

Within the two-dimensional coordinate system, I designed and tested simple operations responsible for constructing cross-sections, which are the basis for building the final mesh of the object. As the programme was extended to include algorithms responsible for the variety of figures obtained, I developed an interface to facilitate interactive data input while running the programme. As a result, a more complex application generating two-dimensional forms evolved from the test code. Alongside the various functionalities, the description of which would go far beyond the scope of this paper, a key element in this area was the introduction of the parametric equation of the Bezier curve into the code and understanding the mechanism of its operation [1].

Bezier curves are commonly used in vector graphics programs. To facilitate the user's interaction work, manipulation of the curve is limited to handling the four control points on which the shape of the curve depends. With this type of software, reaching the coordinates of all the interpolated points of the curve is usually closed. This being said, however, in the case of the work I undertook, the options for generating all the points and operating them independently became crucial in building an object mesh with a soft, organic character. Furthermore, accessing them and being able to store their coordinates allows further algorithmic modifications of the resulting formations.

The second area of experimentation involved programming in a three-dimensional cylindrical coordinate system. Where I imported previously developed code responsible for drawing cross sections. I tested ways to interpolate them in terms of constructing a three-dimensional model. Using the simple one-way orientation of the cylindrical form, I prepared algorithms for transforming the surface mesh and I also analyzed its correctness (Fig. 4).

In the third most important area, I was implementing previously tested operations and developed shapes into a more complex multi-directional spatial arrangement of the composition. When I decided to materialise the chosen transformation phase in the ceramic material, the ideal solution seemed to be to use 3D printing technology, which would be able to bring out all the subtleties of the numerical operations. Nevertheless, here also emerged a second significant issue concerning the limitations of the chosen fabrication method, from which no new technology is free. In the case of clay printing, I encountered limitations arising both from the specifications of the machine itself and from constraints concerning the composition and consistency of the clay used. In the machine I have used so far, where there is no option to insert supports, the possibility of printing with highly plastic clay is limited to vertical forms whose the centre of the mass does not extend beyond the contour of the base. The angle of inclination of the wall to the base plane is also limited. Generally speaking, their boundary values are influenced by the scale, the geometry of the form and the consistency and composition of the clay body, as well as many other factors subordinate to the building, drying and firing processes of the ceramic [8].

In order to creatively conquer these difficulties, I first developed a simplified application to facilitate the rapid testing of boundary values in relation to algorithmically designed objects and their aesthetics. I adapted the solutions I had developed in

the second area related to programming in the 3D cylindrical coordinate system and adapted some functions to the basic capabilities of the device. During the very first tests, I concentrated on upright form arrangement, subordinated to the vertical axis of the device. In this simplified configuration, I was able to check the effect of the entered parameters on the surface structure and analyse the accuracy of the resulting model mesh. In connection with the printing process, I tested the extremes of the generated geometry for a given composition and consistency of the clay. In the case of clay printing, going beyond the values acceptable in this technology resulted in the appearance of interesting surface aberrations, which enrich the aesthetics of the print (Fig. 5).

Having recognised the potential of these hybrid activities, I extended the testing application with further functionalities while extending its interface. For example, I introduced algorithms based on trigonometric functions that can conventionally represent sound waves or vibrations. The functions, which are quite intuitively related to each other, take on a number of variables that determine how the surface of the object is disturbed. Based on this code, a series of sinEGG objects was created. The effect obtained in the objects from the Nonuniform series (Fig. 6), in turn, is based on a procedure that mixes and disturbs the pure, symmetrical and uniform rhythm of the virtual model's cross-sections. The surface aberrations that appear are the result of the displacement of the digital mesh of the object pattern. In this case, the manipulation of data sets influences the more or less organic character of the forms, and the resulting effect can be heavily directed. To control the interface and the increasing number of variables, I used the external controller library *controlP5* designed by Andreas Schlegel [5], so that I could comfortably bind variables to sliders or input fields. This made it much easier to observe as to how the numerical values entered affected the result.

In order to interactively adjust the generated forms (and perhaps also out of a subconscious longing to manual work in clay), I developed a code of modifier to flexibly scale the model mesh. To accomplish this task, I once again used a Bezier curve but this time in the form of a third-degree mathematical equation. The interactive curve in my code is a substitute for touch, it was introduced as an interface element and is used to 'pseudo-manually' modify the curvature of the surface. Thereby, it allows me to introduce an intuitive factor into the process of parametric transformations. One example of a ceramic work that was predominantly designed based on the flexible modification of 'scaling curves' is the *Pleasure* object (Fig. 7).

Overcoming the other limitations of the geometry achievable with this technology, that is, going beyond the vertical form arrangement, involved dividing the digital model into parts, printing separate components and developing a method of joining them. The assembly procedure used combined digital techniques with traditional methods of working with ceramic material. I used it for the first time during the creation of the *Ananke* work (Fig. 8). The technical difficulties that became apparent during the various stages of building this object initiated further modifications.

One of the practical conveniences introduced to the application in terms of the fabrication of multi-directional objects was the possibility to interactively divide the form into separate components from within the programme interface and to export the individual parts independently. This significantly simplified the pre-preparation of object parts for printing.

In contrast to the fabrication process of the modules themselves, the various stages of their manual installation are very demanding and time-consuming, due to the fact that the

clay shrinks under the influence of moisture loss, changing its dimensions. This process can cause strains, deformations and, in the worst cases, cracks. In order to control these changes, it is necessary to control the drying process, in this case evenly slowing down the loss of moisture from elements that have lost some of their plasticity [8].

Furthermore, during the installation process, the manipulation of unfired, leather-hard modules with a rich printed texture is a rather breakneck process due to the vulnerability of this material to deformation and cracking. The degree of possible damage to the unfired module also depends on the thickness of the object's walls and their moisture level. The support system I used, immobilises the already connected parts of the object, reducing the risk of cracks during the manual installation of subsequent elements. A properly prepared structure allows both safe drying as well as firing of the object (Fig. 9).

The procedure described above is the one I applied to the ceramic object *Cyberboros* (Fig. 10), which was part of a multimedia installation of the same name. I emphasised the concept of a transforming medium by introducing into the spatial composition an animation of the transforming object, which was generated directly from within the application. The project combines two seemingly contrasting worlds. The material one, based on ceramic matter, and the digital one, in which, through mathematical and geometrical operations, I encode precisely repetitive rhythms of small changes that build the bodily fabric of the work.

The current shape of the application and the results obtained are the outcome of several years of experimentation in an area that combines two distant disciplines. During that time, the sketch of an interactive form has evolved into a prototype programme enriched with a number of practical improvements. These concern both the key aspects of interactive data handling, which affect the nature and aesthetics of algorithmically designed objects, as well as functionality aimed at the fabrication method used.

Although, at this stage, the achievable spatial compositions are within a well-defined and personalised range, the solutions tested have a theoretically unlimited range of structural operations arising from the characteristics of the digital medium. It is without a doubt that the introduction of programming techniques into the arsenal the artist can use offers an opportunity to realise the true potential inherent in digital technologies.

Bibliografia Bibliography

- [1] Greenberg I., *Processing: Creative Coding and Computational Art*, New York, USA 2007.
- [2] <https://www.komputerswiat.pl/aktualnosci/internet/adobe-oglasza-koniec-flasha-usmierci-go-do-2020-roku/9r14kvd> (data dostępu/access: 29.05.2022)
- [3] <https://blog.adobe.com/en/publish/2017/07/25/adobe-flash-update#gs.cytij> (data dostępu/access: 29.05.2022)
- [4] <https://processing.org/overview> (data dostępu/access: 29.05.2022)
- [5] <https://www.sojamo.de/libraries/controlP5/> (data dostępu/access: 29.05.2022)
- [6] Manovich L., *Tylko software [w:] 14 Biennale Sztuki Mediów Alternative Now*, red. Piotr Krajewski, Violetta Kutlubasis-Krajewska (red.), Wrocław 2012.
- [7] Peters K., *Foundation ActionScript Animation: Making Things Move!*, New York, USA 2007.
- [8] Reijnders A., *The Ceramic Process: A Manual and Source of Inspiration for Ceramic Art and Design*, Londyn 2021.
- [9] Ypenburg D., *Action Script 3.0: Szybki Start*, Gliwice 2009.



1. Okaz *Turdus merula* (samiec) z historycznej kolekcji Centrum Zasobów Bioróżnorodności Zwierząt (CRBA) Uniwersytetu Barcelońskiego.

Źródło: Jordi Morell.

Specimen of *Turdus merula* (male) from the historical collection of the Animal Biodiversity Resource Center (CRBA) of the University of Barcelona.

Source: J. Morell.



2. Jordi Morell, *Do śpiewu kosów, które nadejdą* (2022). Druk 3D z wykorzystaniem PLA. Źródło: Jordi Morell

Jordi Morell, *To the songs of blackbirds that will come* (2022). 3D printing with PLA. Source: J. Morell.

Niniejszy artykuł przedstawia projekt badawczy I+D+i *Materia drukowana*, prowadzony przez zespół artystów i nauczycieli od 2013 roku na Wydziale Sztuk Pięknych Barcelońskiego Uniwersytetu. Projekt ten krytycznie i eksperymentalnie skupił się na zastosowaniu technologii druku 3D i jej wpływie na współczesne języki artystyczne.

W pierwszej części dokonano przeglądu wyboru prac artystycznych, będących efektem eksperymentów i badań projektu *Materia drukowana*. Cechą wspólną tego zestawienia jest to, że wszystkie prace skupiają swoje spojrzenie i zainteresowanie na środowisku naturalnym, z nostalgią dzieląc troskę, która wydaje się być niezbędna w czasach tak kruchych i wrażliwych ze względu na globalny kryzys ekologiczny.

Następnie rozwija się obecne zadanie: *Materiały Drukowane. Laboratorium w sieci* (PGC2018-093862-B-C22). Jest to platforma, której propozycja uwzględnia komunikację telematyczną i pracę w sieci jako część obecnej normalności, zarówno w sferze prywatnej, jak i zawodowej czy edukacyjnej.

Słowa kluczowe: Technologia 3D, procesy artystyczne, sztuka współczesna

Materia drukowana. Zmieniać znaczenie rzeczy

— **Jordi Morell-Rovira**
 — **Cristina Pastó-Aguilà**
 — **Àngels Viladomiu-Canela**

**Katedra Sztuk Wizualnych i Projektowania, Wydział Sztuk Pięknych,
 Uniwersytet Barceloński, Hiszpania**

(J. Morell-Rovira)  <https://orcid.org/0000-0003-3927-3922>

(C. Pastó-Aguilà)  <https://orcid.org/0000-0001-7522-0401>

(À. Viladomiu-Canela)  <https://orcid.org/0000-0001-6525-9441>

Projekt *Materia drukowana* ma długą historię (pierwszy oficjalny projekt miał miejsce w 2013 roku) i skupia swoje badania na technologii 3D, stosowanej w sztuce oraz na tym, jak wpłynęła ona na współczesne języki artystyczne. Zespół badawczy aktywnie uczestniczył w projektach *Badania procesów artystycznych i nowych technologii* z różnych dziedzin sztuk wizualnych, takich jak grawerowanie i drukowanie, rzeźba itp. Współpracował również z innymi dyscyplinami wiedzy, takimi jak biologia, geografia, architektura, historia itp. Wszystkie dziedziny łączy pytanie o to, jak stopniowe wdrażanie wirtualności zastępuje to, co materialne i namacalne w projektach artystycznych. Biorąc pod uwagę wzrost obecności cyfrowej i wirtualnej w naszym codziennym życiu, wydaje się, że konieczne jest przemyślenie powrotu do materialności poprzez włączenie wspomnianych technologii do procesów pracy.

Chris Anderson doskonale definiuje tę sytuację powrotu do materiału w swojej książce *Makers*, kiedy mówi:

Ci, którzy urodzili się w środowisku cyfrowym, zaczynają tęsknić za życiem poza ekranem. Tworzenie czegoś, co zaczyna się wirtualnie, ale szybko staje się dotykalne i użyteczne w codziennym świecie, jest satysfakcjonujące w sposób, którego nie mogą zapewnić piksele. Poszukiwanie rzeczywistości kończy się, gdy powstają prawdziwe rzeczy [1, p. 34].

Członkowie grupy rozumieją sztukę jako badanie samo w sobie i rozważają dylematy pomiędzy obiektem oryginalnym a obiektem odtworzonym; techniką a sztuką; oraz interfejsem podmiotu i przedmiotu [2, s. 75].

Następnie przedstawiamy cztery propozycje artystyczne, będące efektem ogólnego projektu *Materia drukowana*. Cechą wspólną wspomnianych propozycji jest to, że wszystkie prace skupiają swoje spojrzenie i zainteresowanie na środowisku naturalnym, z nostalgią dzieląc troskę, która wydaje się być niezbędna w czasach tak kruchych i wrażliwych ze względu na globalny kryzys ekologiczny. Na koniec przeanalizujemy aktualne wyzwanie zespołu badawczego, jakim jest uruchomienie *Laboratorium w sieci*: platformy, której propozycja uwzględnia komunikację telematyczną i pracę w sieci jako część obecnej normalności, zarówno w sferze prywatnej, jak i zawodowej czy edukacyjnej.

Propozycja 1. Kos

Melodyjna i kwiecista pieśń samca kosa, który uważany jest za jednego z najpiękniejszych ptaków w Europie, a który również utożsamiany jest z zawodzeniem, jest pretekstem wykorzystanym przez artystę Jordi Morell do odtworzenia w druku 3D modelu tego gatunku z wypchanego okazu należącego do historycznej kolekcji Centrum Zasobów Bioróżnorodności Zwierząt (CRBA) Uniwersytetu Barcelońskiego (Ryc. 1). Jak określił sam autor, ta „bezwładna i niema” reprodukcja służy wywołaniu pewnej nostalgii swoją pieśnią, którą z łatwością możemy usłyszeć w środowiskach miejskich, w których żyje większość z nas. Owa postać przyjmuje rolę „niemego świadka traumatycznej sytuacji” (Ryc. 2).

Kolekcja zoologiczna, do której należy okaz kosa, użyty jako model, ma swój początek w Gabinetie Historii Naturalnej, utworzonym w 1847 roku. Na przestrzeni lat kolekcja przechodziła wiele zmian i perypetii. Wśród nich artysta podkreśla dramatyczny epizod bombardowania Barcelony podczas hiszpańskiej wojny domowej, w czasie którego zniszczeniu uległa część kolekcji i większość akt identyfikujących jej okazy. Ten barceloński kos, pochodzący z lat siedemdziesiątych XX wieku, a więc po wydarzeniu wojennym, służy autorowi również do refleksji nad innymi kosami, które przetrwały katastrofę w dawnych i obecnych konfliktach. Dał on początek utworowi *Als cants de merla que vindran/Do śpiewu kosów, które nadejdą* (2022). Tytuł przywołuje ostatnie wersy Bertolda Brechta, napisane w białej sali szpitala Charité w Berlinie, które teraz przedstawiamy.

Propozycja 2. Porosty

Projekt – *Des que som una conversa/Odkąd staliśmy się rozmową* – jest wynikiem zbiegu dwóch linii badawczych: zainteresowania charakterystyką i strukturą porostów oraz eksperymentów z drukiem 3D. Spotkania z dr Gomez Bolea z Katedry Botaniki Wydziału Biologii, ekspertem w dziedzinie porostów jako bioindykatorów jakości powietrza, pozwoliły poznać podstawowe cechy tych organizmów.

Porosty to organizmy, które powstały w wyniku symbiotycznego związku grzyba i algi. Ze względu na te cechy morfologiczne są one bardzo odporne, zdolne do życia w nieprzyjaznych środowiskach. Ochrona przed promieniowaniem słonecznym, którą zapewnia grzyb i zdolność do fotosyntezy algi, nadają porostom szczególny charakter. W odpowiednich warunkach wilgoci, przy jednoczesnym wchłanianiu wody, grzyb pobudza fotosyntezę algi, a porost wytwarza nowe tkanki i rośliny. Jeśli środowisko staje się zbyt nieprzyjazne, ma zdolność do pozostania w stanie latencji do czasu, gdy otoczenie będzie



4. Fragment porostu Lobaria Pulmonaria na pniu (2016). Źródło: Cristina Pastó
Fragment of the lichen Lobaria Pulmonaria on a trunk (2016). Source: C. Pastó



4. Cristina Pastó, *Odkąd staliśmy się rozmową* (2016-2017), 5 nakładających się modułów. Druk 3D w PLA i ABS Bendlay. Źródło: Cristina Pastó
Cristina Pastó, *Since we became a conversation* (2016-2017), 5 overlapping modules. 3D printing in PLA and ABS Bendlay. Source: C. Pastó

bardziej sprzyjające. Wydrukowana w 3D replika porostu Lobaria pulmonaria (Ryc. 4) służy artystce do przemyśleń na temat czasu i mówienia o naturalnym wzroście tego gatunku w przeciwieństwie do szybkości, z jaką drukarka może odtworzyć okaz. Jak sama mówi:

Zdałam sobie sprawę, że prędkość, z jaką drukarka 3D może odtworzyć porost jest odwrotnie proporcjonalna do powolności jego naturalnego wzrostu. Drukarka drukuje z prędkością 50 mm/s, a porost rośnie od 0,1 do 10 mm każdego roku. Gatunek o średnicy 10 cm oznacza naturalny wiek około 500 lat [6, s. 103].

Projekt - *Odkąd staliśmy się rozmową* - dotyczy również światła, jakości powietrza, tkanki w naszych płucach oraz wymierania niektórych gatunków. Drukarka 3D wiernie skopiowała klapowany kształt liści tego gatunku, który jest bardzo podatny na jakość powietrza i znika z większości europejskich lasów. Teraz rośnie tylko w najstarszych bukowych i dębowych lasach kontynentu. Artystka pracowała z próbką zebraną w lasach Irati (Navarra, Hiszpania), gdzie jeszcze przetrwał (Ryc. 3).

Propozycja 3. Panorama i pamięć

Inny przypadek dotyczy artystki Àngels Viladomiu, która w swojej propozycji *3D Souvenir: Panorama & Memory/ Pamiętka 3D: Panorama i Pamięć*, tworzy relioramę (Ryc. 5). Jest to kolistie pasmo górskie, niczym korona, które mówi nam nie tylko o krajobrazie, ale także o innych kwestiach, takich jak pamięć i podróż. Punktem wyjścia jest pewna idea „panoramy”, związana z pamiątką-obiektem. Jak mówi Viladomiu:

Dziś nie podróżujemy już tak jak kiedyś, a nasze nawyki postrzegania i doświadczania miejsc uległy zmianie i są ściśle uwarunkowane towarzyszącymi nam urządzeniami cyfrowymi, telefonami komórkowymi czy GPS. [...] odwiedzane miejsce jest redukowane i przekładane na przedmiot konsumpcji [7, s. 117].

Na potrzeby projektu, artystka przeprowadziła obszerne badania nad ideą mapy i topografii. Wychodząc od danych geoprzestrzennych i wykorzystując program DEM, który pozwala na wykonanie cyfrowego modelu wysokościowego, stworzyła plik cyfrowy, w którym przedstawiona jest przestrzeń bez konieczności jej odwiedzenia. Rezultatem jest wydrukowana praca, która wygląda jak mały klejnot oraz sugeruje ironiczne i krytyczne spojrzenie na relację, jaką nawiązujemy z krajobrazem, gdy technologia interweniuje (Ryc. 6). Projekt proponuje formułę samodzielnego wytwarzania panoramicznych pamiątek, które przywołują doświadczenie podróży poprzez relief w kształcie korony, wykonany przy pomocy drukarki 3D.

Propozycja ta kwestionuje sposób reprezentacji idyllicznego środowiska i pyta, czy konieczne jest bezpośrednie doświadczenie miejsca, aby móc je odwzorować. Pamiętka jest ściśle związana z odwiedzonym miejscem, działa jako świadek i ma dużą wartość symboliczną dla swojego właściciela.

Wreszcie, *Pamiętka 3D: Panorama i Pamięć* (2015) przypomina nam w pewien sposób, jak nasze obecne spojrzenie na świat jest uwarunkowane urządzeniami cyfrowymi i dominującą kulturą wirtualną.

Propozycja 4. Przemyślenia nad Penone

Ostatnim elementem jest projekt Mercè Casanovas, artystki specjalizującej się w grawerowaniu i litografii, która proponuje projekt *Repensant Penone/ Przemyślenia nad Penone*, w którym ponownie analizuje bardzo specyficzny element: kamienie. Za punkt wyjścia obrała cykl *Essere Fiume* (1981) artysty Giuseppe Penone, w którym ten wybiera z rzeki naturalny kamień, powiela go i wpisuje w porządek boskiego stworzenia. Starannie odtwarza formę pierwszego kamienia w drugim, zmieniając jego stan: przechodzi on ze świata przyrody do świata kultury. Subtelność tego niedoskonałego podo-



5. Àngels Viladomiu, *Pamiętka 3D: Panorama i Pamięć* (2015). Druk 3D z wykorzystaniem PLA. Źródło: Àngels Viladomiu
Àngels Viladomiu, *3D Souvenir: Panorama & Memory* (2015). 3D printing with PLA. Source: À. Viladomiu



6. Àngels Viladomiu, *Poprzednie modele (panorama: fragmentacja i fałdy)* (2015). Źródło: Àngels Viladomiu
Àngels Viladomiu, *Previous models (panorama: fragmentation and folds)* (2015). Source: À. Viladomiu



7. Mercè Casanovas, *Przemyslenia nad Penone* (2019). Cyfrowa impresja procesu skanowania. Źródło: Mercè Casanovas
 Mercè Casanovas, *Rethinking Penone* (2019). Digital impression of the scanning process. Source: M. Casanovas



8. Mercè Casanovas, *Przemyslenia nad Penone* (2019). Druk 3D i kamień. Źródło: Mercè Casanovas
 Mercè Casanovas, *Rethinking Penone* (2019). 3D printing and stone. Source: M. Casanovas

bieństwa, fikcja mimesis związana z powielaniem naturalnego procesu, skłoniła ją do ponownego rozważenia pracy *Penone* i przeniesienia jej do świata druku 3D.

Essere Fiume ustępuje miejsca maszynie, która buduje oryginalny kamień warstwa po warstwie. Idealnie odtwarza każdy fragment, każdy szczegół kamienia, lecz innym językiem, gdyż jego natura jest inna. Materiał używany przez drukarkę to biodegradowalne tworzywo sztuczne (PLA), które doskonale oddaje kształt i fakturę oryginału, ale waga i właściwości dotykowe nowego kamienia są zupełnie inne. W Essere Fiume rzeźbiarz staje się wodą w rzece, która modeluje, wygładza i oczyszcza kamień, krok po kroku. Teraz natomiast to drukarka konstruuje i odtwarza oryginalny kamień, warstwa po warstwie, na podstawie informacji przekazywanych przez komputer.

Dla Casanovas sama technologia i jej ograniczenia stają się przedmiotem refleksji, podczas gdy ona pyta nas o związek oryginału z kopią lub po prostu ustępuje miejsca maszynie, która powoli buduje swój obiekt [5, s. 104]. Artystka kontynuuje rozważania nad kwestiami obecnymi w całej jej karierze jako grafika, takimi jak proces seryjności i automatycznej reprodukcji dzieła.

Laboratorium w sieci

Jak wspomniano na początku artykułu, teraz przechodzimy do przyjrzenia się najnowszemu projektowi *Materia drukowana*, jakim jest uruchomienie platformy *Laboratorium w sieci*. Chociaż projekt rozpoczął się przed pandemią COVID-19, to dostrzegamy fakt, że doświadczenia przymusowej izolacji ludności przyspieszyły wdrażanie hybrydowych metod pedagogicznych. Zapoznaliśmy się z wieloma platformami i narzędziami do prowadzenia sesji *online*, a także z różnymi sesjami roboczymi *online* ze współpracownikami z różnych części planety, które realizowaliśmy w ostatnich latach. Podkreślamy na przykład międzynarodową konferencję *Prototypes & Plasticity methodologies and transfer processes around matter*, która odbyła się w grudniu 2017 roku i została zorganizowana przez grupę badawczą IMARTE, której również jesteśmy częścią, gdzie wyłoniły się niektóre z obaw i kwestii, które następnie stały się załącznikiem tego eksperymentalnego *Laboratorium*. Z drugiej strony, ostatnie sympozjum *online Solids(on)cloud*, które odbyło się 31 marca 2022 roku, ma być początkiem serii sesji wymiany i debaty z różnymi badaczami, artystami i myślicielami, które mają się odbywać przez cały rok 2023 i których materiały będą publikowane na stronie *Materia drukowana*.

Z tego powodu nasza grupa badawcza projektuje nową platformę internetową, która będzie służyć jako: 1. Przestrzeń do prezentacji zrealizowanych projektów, 2. Miejsce do zbierania ogólnych informacji o technologiach 3D oraz 3. Wirtualna strona która ułatwi współpracę w procesach twórczych oraz wymianę plików i pomysłów. Pod tym względem *Laboratorium w sieci* chce stać się przestrzenią współpracy, gdzie nie tylko wymyśla się, opracowuje i bada prototypy, ale także promuje się wspólne procesy tworzenia. Podobnie środki produkcji, czy to w formie wirtualnej czy materialnej, będą analizowane od momentu ich powstania, poprzez ich odczytanie, odbiór, aż po ich wpływ na ludzi.

Materia drukowana. Laboratorium w sieci proponuje scalanie przestrzeni badań, refleksji i rozpowszechniania technologii druku i skanowania 3D. Wdrażanie technologii 3D to szybki proces, który zmienia modele produkcji, zarówno na poziomie przemysłowym, jak i domowym. Oznacza to, że twórczość artystyczna nie może ignorować tych zmian. Z drugiej strony, nie tylko produkcja form ulega zmianom, ale również praktyka artystyczna ma możliwość poszerzenia swoich metodologii i sposobów upowszechniania. Cyfrowe nośniki pozwalają na tworzenie dotychczas niewyobrażalnych mechanizmów współpracy, w których relacja twórca - widz przyjmuje nowe role.

Podsumowanie

Podsumowując, technologie produkcji materiałów 3D służą badaniu nowych znaczeń oraz otwierają szerokie pole eksperymentów i refleksji, które są nie do pominięcia w propozycjach artystycznych. Z tego powodu naszym głównym celem było włączenie niektórych możliwości, oferowanych przez te procesy, i krytyczna refleksja nad tym, jak wpisują się one w nasz artystyczny dyskurs. Aby to zrobić, pracowaliśmy z otwartym umysłem, w warunkach, w których technologie, materiały i idee były nieustannie mieszane. W trakcie naszych badań zasadniczym priorytetem było zajęcie się tym, jak i co robić, co jest kluczowym pytaniem w każdym procesie artystycznym. Cztery propozycje artystyczne są reprezentatywne dla rodzaju twórczych poszukiwań, rozwijanych przez grupę *Materia drukowana*, a jednocześnie każdy z artystów niech pracuje z innymi zainteresowaniami i problemami. Prace Mercè Casanovas dotyczą głównie oryginału i kopii, Cristiny Pastó – czasowości, a Jordi Morell i Àngels Viladomiu – pamięci. U wszystkich pojawia się potrzeba zmiany rzeczy, a czynią to paradoksalnie przy pomocy technologii 3D i w epoce informacji, cechującej się płaskością. W przeciwieństwie do tego, co mówi nam Byung Chul Han, ta rzeczywistość jest coraz bardziej rozrzedzana w informacjach za ekranem. Świat przekładany jest na zapisy w naszych urządzeniach mobilnych, rzeczy pozbawione są ich materialności, a wspomnienia zachowane w przedmiotach nagle przestają mieć wartość: *Jeśli cyfryzacja niszczy paradygmat rzeczy. [...] A drukarki 3D unieważniają byt rzeczy* [4, s. 15]. I to właśnie tutaj sztuka ma zdolność ujawniania języka rzeczy, nadawania im znaczenia.

Podobnie podkreślamy, że każdy artysta zacieśnił współpracę z innymi specjalistami i instytucjami (z dziedziny biologii, botaniki i ornitologii czy geografii i geologii). Z kolei, sam proces artystyczny został wzbogacony o metody i wiedzę z innych dyscyplin. Jest to istotny rezultat projektu, który wiąże się z naszym obecnym wyzwaniem, jakim jest *Laboratorium w sieci*.

W odniesieniu do *Laboratorium w sieci*, równoległe z projektowaniem platformy internetowej, zwracamy uwagę na sympozjum *Solids(on)cloud*. Sympozjum to było testem pilotażowym, który przyniósł bardzo pozytywne rezultaty i posłużył jako model do regularnego planowania innych sesji zawodowych, które pomagają dzielić się i omawiać projekty badawcze i twórcze. Ponadto, aby skonsolidować, krok po kroku, sieć współpracy międzynarodowej, z wolą rozszerzenia i postawienia dla nas nowych wyzwań.

Zdajemy sobie sprawę, że istnieje kilka dylematów, które zasługują na naszą uwagę, takich jak: jaka jest równowaga między maszyną a autorem? Czy też równowaga między mechanicznym wytwarzaniem a procesem artystycznym? Czy cyfryzacja pozwala na demokratyzację środowiska? Co się dzieje, gdy parametry plików są otwarte, a użytkownik ma dostęp i może interweniować w proces twórczy zainicjowany przez artystę? Czy kwestionuje to autorstwo? Jakie są wady i zalety tych procesów współtworzenia i koprodukcji? Albo jak powinniśmy interpretować te dzieła, które nie odpowiadają produktom seryjnym lub przedmiotom wykonanym ręcznie?

Z tego powodu głównym wyzwaniem, które zespół badawczy musi potraktować poważnie, jest długoterminowa trwałość projektu.

Podziękowania

Doceniamy hojny wkład ze strony: Dr. Antoniego Serra Sorribes, dyrektora Historycznej Kolekcji Centrum Zasobów Bioróżnorodności Zwierząt (CRBA) Uniwersytetu Barcelońskiego, Dr. Gómez Bolea z Katedry Botaniki Wydziału Biologii Uniwersytetu Barcelońskiego, specjalisty od porostów. Dziękujemy również Rubénowi Campo, instruktorowi Pracowni Modelarskiej Wydziału Sztuk Pięknych Uniwersytetu Barcelońskiego, za porady techniczne, dotyczące skanowania i druku 3D.

This paper presents the I+D+i research project PRINTED MATTER led by a team of artists and teachers since 2013 in the Faculty of Fine Arts at the University of Barcelona. This project has critically and experimentally focused on the application of 3D printing technologies and their impact on contemporary artistic languages.

In the first part, a selection of artistic works resulting from the experimentation and research of the Printed Matter project is reviewed. This selection has in common that all the works put their gaze and interest in the natural environment, and share with a certain nostalgia this concern, which indeed seems essential at a time of such fragility and vulnerability because of the global ecological crisis.

And then, the current challenge is developed: PRINTED MATTER. Laboratory in net (PGC2018-093862-B-C22). This is a platform whose proposal incorporates telematic communication and work on networks as part of the current normality, both in the private sphere as well as professionally or educationally.

Keywords: 3D technology, artistic processes, contemporary art

PRINTED MATTER. Resignify things

— **Jordi Morell-Rovira**
— **Cristina Pastó-Aguilà**
— **Àngels Viladomiu-Canela**

**Departament d'Arts Visuals i Disseny, Facultat de Belles Arts,
Universitat de Barcelona, Spain**

(J. Morell-Rovira)  <https://orcid.org/0000-0003-3927-3922>

(C. Pastó-Aguilà)  <https://orcid.org/0000-0001-7522-0401>

(À. Viladomiu-Canela)  <https://orcid.org/0000-0001-6525-9441>

Introduction

Printed Matter has a long history –its first official project was in 2013– and focuses its research on the territory of 3D technologies applied to art and how these have had an impact on contemporary artistic languages. The research team has actively participated in “Research in artistic processes and new technologies” projects from various fields of visual arts –such as engraving and printing, sculpture, etc–, as well as collaborating with other disciplines of knowledge – such as biology, geography, architecture, history, etc. – and they all coincide in questioning how the progressive implementation of virtuality has been replacing the material, the tangible in artistic projects.

Considering the increase in digital presence and virtuality in our daily lives, it is deemed necessary to rethink a return to materiality by incorporating these technologies into work processes.

Chris Anderson perfectly defines this situation of return to the material in his book *Makers* when he says:

Those who are born with the digital begin to long for life beyond the screen. Making something that starts out virtual but quickly becomes tactile and useful in the everyday world is satisfying in a way that pixels can't. The search for reality ends when real things are done [1, p. 34].

The members of the group understand art as an investigation in itself and consider the dilemmas between the original object and the reproduced object; technique and art; and subject and object interface [2, p. 75].

Next, we present four artistic proposals resulting from the generic Printed Matter project. This selection has in common that the four works put their gaze and interest in the natural environment, and share with a certain nostalgia this concern, which indeed seems fundamental at a time of such fragility and vulnerability as a result of the global ecological crisis. And, finally, we will investigate the current challenge of the research team to launch the *Laboratory in net*: a platform whose proposal incorporates telematic communication and networks as part of the current normality, both in the private sphere as well as professionally or educationally.

Proposal 1. A blackbird

The melodious and fluty song of the male blackbird –considered one of the most beautiful birds in Europe– which is also identified with the moan, is the pretext used by the artist Jordi Morell to reproduce in 3D printing a model of this species from a stuffed specimen belonging to the historical collection of the Animal Biodiversity Resource Center (CRBA) of the University of Barcelona (Fig. 1) This “inert and mute” reproduction –as defined by the author himself– serves to evoke a certain nostalgia with its song, which we can easily hear in the urban environments where most of us live. This character takes on the role of being “a silent witness to a traumatic situation” (Fig. 2).

The zoological collection, to which the blackbird specimen used as a model belongs, has its origins in the Natural History Cabinet, created in 1847. This collection has gone through many changes and vicissitudes over the years. Among them, the artist highlights the dramatic episode of bombing suffered by the city of Barcelona during the Spanish Civil War, which destroyed part of the collection and most of the files identifying its specimens.

This blackbird of Barcelona dating back from the seventies, so after the war event, also serves the author to reflect on other blackbirds that survived the disaster in past and present conflicts and has given way to the piece *Als cants de merla que vindran/ To the songs of blackbirds that will come* (2022). The title evokes the last verses of Bertold Brecht written from the white room of the Charité hospital in Berlin, that we now present.

Proposal 2. Lichens

The project *Des que som una conversa/ Since we became a conversation* is the result of the confluence of two research lines: an interest in the characteristics and structure of lichens and experimentation with 3D printing.

The meetings with Dr Gomez Bolea of the Department of Botany of the Faculty of Biology, an expert in lichens as bioindicators of air quality, enabled him to learn about the basic characteristics of these organisms.

Lichens are organisms that originate in the symbiotic association between a fungus and an alga. Because of these morphological characteristics, they are highly resistant, able to live in inhospitable environments. The protection against solar radiation that is supplied by the fungus and the capacity for photosynthesis of the alga give lichen a particular nature. In suitable conditions of humidity, with absorption of water, the fungus boosts the photosynthesis of the alga and the lichen generates new tissues and grows. If the environment becomes too hostile, it has the capacity to remain in a state of latency until its surroundings are more favourable. The 3D printed replica of the lichen *Lobaria pulmonaria* (Fig. 4) serves the artist to rethink time and talk about the natural growth of this species as opposed to the speed with which the printer can reproduce a specimen. Just like she says:

I realised that the speed with which the 3D printer can reproduce a lichen is inversely proportional to the slowness of its natural growth. The printer prints at a speed of 50mm/s and a lichen grows between 0,1 and 10 mm every year. A species with a diameter of 10 cm implies a natural age of some 500 years [6, p. 103].

Since we became a conversation also talks about light, air quality, the tissue in our lungs, and the extinction of certain species. The 3D printer faithfully copied the lobed shape of the leaves of this species, which is highly sensitive to the quality of the air and is disappearing from most European woodland. Now it only grows in the oldest beech and oak woods of the continent. The artist worked with a sample collected in the forests of Irati (Navarra, Spain), where it still survives (Fig. 3).

Proposal 3. Panorama & Memory

Another case is that of the artist Àngels Viladomiu who, in her proposal *3D Souvenir: Panorama & Memory*, creates a reliorama (Fig. 5). It is a circular mountain range, like a crown, which not only tells us about the landscape, but also about other issues such as memory and travel. The starting point is a certain idea of “panorama” related to the souvenir-object. As she says:

Today we no longer travel as before, and our habits of perception and experience of places have changed and are closely conditioned by the digital devices, mobile phones or GPS that accompany us. [...] the visited place is reduced and translated into an object of consumption [7, p. 117].

For this project, the artist has developed extensive research on the idea of map and topography. Starting from a geospatial data and using the DEM programme, which allows the creation of a digital elevation model, she has created a digital file where this space is represented without having visited it. The result is this printed piece, which looks like a small jewel and suggests an ironic and critical look at the relationship we establish with the landscape when technology intervenes (Fig. 6). The project proposes formulas for the self-manufacturing of panoramic souvenirs that recall the experience of a trip through this crown-shaped relief made with a 3D printer.

This proposal questions how the idyllic environment is represented and asks if it is necessary to have a direct experience of a place to represent it. The souvenir is intimately linked to the site visited, operates as a witness, and has great symbolic value for its owner.

Finally, *3D Souvenir: Panorama & Memory* (2015) reminds us, in a certain way, how today our view of the world is conditioned by the digital devices and the dominant virtual culture.

Proposal 4. Rethinking Penone

Finally, the artist Mercè Casanovas, an expert engraver and lithographer, proposes the project *Repensant Penone / Rethinking Penone* where she re-reads a very specific element: stones. She takes as a starting point the series *Essere Fiume* (1981) by the artist Giuseppe Penone, where he chooses a natural stone from the river, duplicates it and inscribes it within the order of divine creation. He carefully reproduces the form of the first stone in a second one, changing its state: it passes from the natural world to the cultural world.

The subtlety of this imperfect similarity, the fiction of the mimesis entailed in the duplication of the natural process, led her to rethink Penone's work and to extrapolate it to the world of 3D printing.

Essere Fiume gives way to the machine that builds the original stone layer by layer. The impression perfectly reproduces each fragment, each detail of the stone, but with a different language, its nature is different. The material used by the printer is a biodegradable plastic (PLA) that perfectly captures the shape and texture of the original, but the weight and feel of the new stone are totally different. In *Essere fiume*, the sculptor becomes the water of a river that models, smooths, and cleans the stone, little by little. Now, instead, it is the printer that constructs and reproduces the original stone, layer by layer, based on the information transmitted by the computer. For Casanovas, technology itself and its limits become the object of reflection –while she questions us about the original-copy tandem or simply gives way to the machine, which slowly builds its object– [5, p.104] and continues to rethink issues present throughout her career as a printmaker, such as the process of seriality and the automatic reproduction of the work.

Laboratory in net

As mentioned at the beginning of the article, we now turn to look into the latest Printed Matter project, which is the launch of the *Laboratory in net* platform.

Although the project started before the COVID-19 pandemic, we recognize that the experiences of population lockdowns have accelerated the implementation of hybrid pedagogical methods and we have become familiar with multiple platforms and tools to conduct online sessions, as well as the various online work sessions with collaborators from different parts of the planet that we have been carrying out in recent years. We highlight, for example, the international conference *Prototypes & Plasticity methodologies and transfer processes around matter*, held in December 2017 and organized by the IMARTE research group of which we are also a part, where emerged some of the concerns and issues that have subsequently been the germ of this experimental Laboratory. On the other hand, the recent *Solids(on)cloud* online symposium, held on March 31, 2022, is intended as the start of a series of exchange sessions and critical debate with different researchers, artists, and thinkers, which are scheduled to take place throughout the year 2023 and whose material will be published on the Printed Matter website.

For this reason, our research group is designing a new online platform that will serve as: 1. A space for presenting completed projects, 2. A place to gather general information about 3D technologies, and 3. A virtual site to facilitate collaborations in creative processes and exchange of files and ideas.

In this sense, *Laboratory in net* wants to become a collaborative space, where prototypes are not only devised, elaborated, and studied, but also shared creation processes are promoted. Likewise, the means of production –whether in its virtual or material form– will be analysed from its conception to its reading, its reception and finally its effect on people.

Printed Matter. Laboratory in net proposes to consolidate a space for research, reflection and dissemination of 3D printing and scanning technologies. The implementation of 3D technologies is a rapid process that is changing production models, both at an industrial and domestic level. This means that artistic creation cannot ignore these changes. On the other hand, it is not only the production of forms that undergoes changes, but artistic practice also has the possibility of expanding its methodologies and ways of dissemination. Digital supports allow the creation of hitherto unthinkable cooperation mechanisms where the creator-spectator relationship adopts new roles.

Conclusions

To conclude, we see how the technologies for the production of 3D materials open up a broad field of experimentation and reflection that artistic proposals cannot ignore and serve to investigate new meanings.

For this reason, our main objective has been to incorporate some of the possibilities offered by these processes and critically think about how they fit into our artistic discourse. To do this, we have worked with an open mind, in a context where technologies, materials and ideas were constantly mixed. Throughout our research, a key priority has been to address how and what to do, which is a crucial question in any artistic process.

The four artistic proposals are representative of the type of artistic research developed by the *Printed matter* group, and at the same time each one works with different interests and concerns. The work of Mercè Casanovas deals mainly with the original and the copy, Cristina Pastó with temporality and Jordi Morell and Àngels Viladomiu with memory. In all of them appears the need to “resignify things”, and they do so paradoxically with 3D technologies and in the information age that is characterized by flatness. In contrast to what Byung Chul Han tells us, that reality is increasingly diluted in information behind the screen. The world is translated into records on our mobile devices, things are deprived of their material beats, and the memories preserved in things suddenly cease to have value: “If digitization destroys the paradigm of things. (...) And 3D printers invalidate the being of things” [4, p. 15] And it is here, where art has the ability to reveal the language of things, giving them meaning.

Likewise, we emphasize that each artist has reinforced his collaboration with other professionals and institutions (from the field of biology, botany and ornithology, or geography and geology). In turn, he has enriched the artistic process itself by incorporating methods and knowledge from other disciplines. This is a relevant result of the project, and it is related to our current challenge, the Lab in net.

Regarding the *Laboratory in net*, we highlight, parallel to the design of the online platform, the *Solids(on)cloud* symposium. This symposium has been a pilot test that has had very positive results and will serve as a model to regularly schedule other work sessions that help share and discuss research and creation projects. And to consolidate, little by little, a network of international cooperation, with the will to expand and pose new challenges for us.

Finally, we recognize that there are several dilemmas that deserve our attention, such as: what is the balance between machine and author? Or the balance between mechanical manufacturing and the artistic process? Does digital allow the democratization of the environment? What happens when the parameters of the files are open, and the user can access and intervene in the creative process originated by the artist? Does this question authorship? What are the drawbacks and advantages of these co-creation and co-production processes? Or how should we interpret these pieces that do not correspond to serial products or handmade objects?

For this reason, a main challenge that the research team must take seriously is the long-term sustainability of the project.

Thanks

We appreciate the generous contribution of: Dr. Antoni Serra Sorribes, director of the Historical Collection of the Animal Biodiversity Resource Center (CRBA) of the University of Barcelona, Dr. Gómez Bolea of the Department of Botany of the Faculty of Biology at the University of Barcelona, specialist in lichens.

And to Rubén Campo, instructor of the Model Workshop of the Faculty of Fine Arts, University of Barcelona, for the technical advice on scanning and 3D printing.

Bibliografia Bibliography

- [1] Anderson Ch., Makers. *La nueva revolución industrial*, Urano, Barcelona 2013.
- [2] Cantalozella J., Negre M., *Materia impresa: una propuesta para la materialización de lo virtual*, Revista Croma, Estudios Artísticos, v. 6, n. 11. 74-82, 2018.
- [3] Casanovas M., *On és l'original? Matèria impresa: de la pedra al plàstic* [in:] *Materia impresa: de la virtualidad digital a la materialidad tridimensional en la investigación artística*, Comanegra, Barcelona 2016.
- [4] Han B-Ch., *No cosas: quiebras del mundo de hoy*, Taurus, Barcelona 2021.
- [5] Morell i Rovira, Jordi (2020) *Pedres 3D: l'error d'Anna Dot i la còpia de Mercè Casanovas*. *Revista Estudió, artistes sobre outras obras*, v. 11, n. 31. 97-104.
- [6] Pastó C., *Des que som una conversa* [in:] *Materia impresa: de la virtualidad digital a la materialidad tridimensional en la investigación artística*, Comanegra, Barcelona 2016.
- [7] Viladomiu À., *Souvenir 3D: Panorama i memòria* [in:] *Materia impresa: de la virtualidad digital a la materialidad tridimensional en la investigación artística*, Comanegra, Barcelona 2016.

W jaki sposób dostosowaliśmy nasze postrzeganie otaczającego nas świata, biorąc pod uwagę, że cyfrowe interfejsy i doświadczenia stają się nierozzerwalnie związane z każdym aspektem naszego zbiorowego doświadczenia? Czy nasze fizyczne doświadczenia istnieją w kontraście do wirtualnych, czy też może istnieje bardziej zniuansowany paradygmat? W niniejszym artykule Thomas Schmidt bada amorficzną naturę cyfrowej produkcji w ramach współczesnej warsztatowej praktyki artystycznej. Z perspektywy artysty i pedagoga z wykształceniem o profilu ceramicznym, Schmidt dzieli się swoją drogą służącą integracji metod analogowych z modelowaniem 3D i cyfrową produkcją oraz tym, jak te pozornie odmienne podejścia do tworzenia mogą współistnieć, poddając refleksji takie tematy, jak przypadek, czas, zmiana i pamięć.

Słowa kluczowe: postdigital, skanowanie 3D, druk 3D, ceramika, cyfrowa produkcja

Zacieranie Granic: Eksperymenty studyjne w postcyfrowym krajobrazie

— Thomas Schmidt

**Interdyscyplinarna Pracownia 3D, Wydział Sztuki i Architektury,
Uniwersytet Północnej Karoliny w Charlotte, USA**

schmidtceramics@gmail.com

Jak stwierdza autor Jonathan Openshaw we wstępie do książki *Postdigital Artisans*, żyjemy obecnie w postcyfrowym świecie, w którym: *cyfrowy sposób myślenia jest nierozzerwalnie związany z naszą egzystencją, niezależnie od tego, czy technologia cyfrowa jest rzeczywiście obecna czy nie* [2, s. 5].

Innymi słowy, granice między analogowym i cyfrowym, fizycznym i wirtualnym, są głęboko splecione ze wszystkimi aspektami naszego życia. Z tego punktu widzenia uważam, że sztuka i design mają potencjał, by oświetlić ten kulturowy stan zatartych granic i reprezentować integrację pozornie rozbieżnych aspektów naszego doświadczenia. Przez ostatnie 20 lat pracowałem jako ceramik, używając narzędzi analogowych, jednocześnie coraz częściej wykorzystując modelowanie 3D i cyfrową fabrykację do rozszerzenia tradycyjnych procesów rzemieślniczych. Moja praca angażuje zarówno to, co wirtualne, jak i to, co fizyczne, jako sposób na zmianę doświadczeń sensorycznych w erze postcyfrowej. Chciałbym podzielić się w tym artykule moją podróżą przez to terytorium oraz eksploracją metod analogowych i cyfrowych jako środków do refleksji nad takimi tematami jak szansa, czas, zmiana i pamięć w postcyfrowym krajobrazie.

Próbki tego, co ulotne

Aby przedstawić, jak doszło do włączenia narzędzi cyfrowych do mojej praktyki artystycznej, muszę najpierw poruszyć jeden z wątków, który przewija się przez całą moją działalność: pojęcie sztuki wizualnej jako zapisu lub próbki. Zainteresowanie to zrodziło się około 15 lat temu, podczas zdobywania certyfikatu dyplomowego w School of the Art Institute of Chicago. Zainspirowały mnie różne badania naukowe, takie jak rdzenie lodowe, które działają jak kapsuły czasu i pomagają w badaniach nad zmianami klimatu. Chociaż moja praca nie była częścią

naukowego dyskursu, pojęcie pobierania próbek zafascynowało mnie tym, że sugeruje, iż możemy wygenerować znacznik czasu doświadczenia: rodzaj próbki tego, co ulotne.

W moim przypadku próbki te zostały wygenerowane poprzez niekonwencjonalne podejście do tworzenia form i formowania z mas lejnych. Dla wyjaśnienia, formowanie z mas lejnych (odlewanie) jest szeroko stosowane w przemyśle do masowej produkcji obiektów ceramicznych. W takim procesie wypełnia się formę płynną gliną, a porowatość formy gipsowej wyciąga wilgoć z płynnej gliny, tworząc w ten sposób skorupę, która dopasowuje się do kształtu wnętrza formy. Powłoka z gliny nadal się zagęszcza, ponieważ jej cząstki są przyciągane do formy gipsowej. Zazwyczaj powłoka osiąga pożądaną grubość około 5 mm w ciągu około 10 minut, w którym to momencie forma jest odwrócona, a pozostała masa lejna może wypłynąć z formy.

Zamiast zajmować się odtwarzalnością obiektu, bardziej interesowało mnie wykorzystanie procesu formowania z masy lejnej jako badania zjawisk materialnych. W mojej wersji tego procesu forma była po prostu sześcianiem, a zamiast opróżniać formę po około 10 minutach, pozwoliłem, by masa lejna osiadła i odparowała przez kilka tygodni, aż do wyschnięcia. Każdego dnia, kiedy wracałem do pracowni, porcelanowa masa osiadała w formie nieco dalej, tworząc widoczne grzbiety, ponieważ woda była stopniowo wchłaniana przez formę. W ten sposób glina stała się dokumentem zmian atmosferycznych, widocznych dzięki wszelkim odchyleniom od kształtu sześciannu. Wypalanie natomiast stało się kolejnym czynnikiem, który zasadniczo utrwalił to „zdarzenie”. Intensywne rozszerzanie się i kurczenie spowodowało powstanie dramatycznych pęknięć, które następnie połączyły się z powrotem, gdy glina osiągnęła temperaturę 1330°C. Proces ten stał się inspiracją do nadania tej serii prac tytułu *Napięcie i Odpoczynek*, a ta metoda zaaranżowania materialnego wydarzenia przygotowuje grunt dla wielu przyszłych prac.

Eksploatacja strefy pomiędzy 2D a 3D

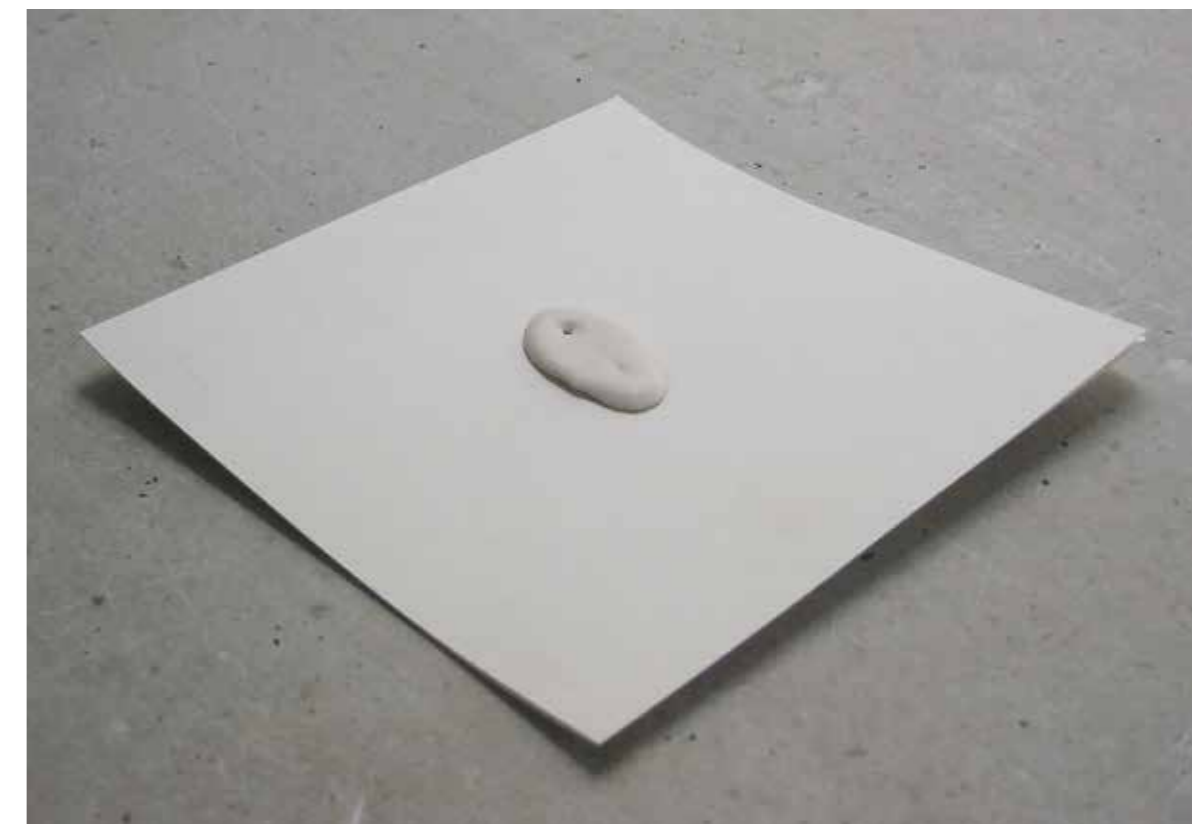
W 2007 roku rozpocząłem studia magisterskie w The New York State College of Ceramics na Alfred University. Mając w pamięci wcześniejsze eksperymenty z odlewaniem przeprowadziłem jeszcze prostszy eksperyment: nakrapiałem odrobinę masy lejnej na papier. Podobnie jak w serii *Napięcie i Odpoczynek*, eksperyment ten zaowocował kolejną wymianą materiału. W tym przypadku papier działał jako rodzaj formy, ale w przeciwieństwie do gipsu, ta forma w widoczny sposób wygięła się w odpowiedzi na wilgoć.

To powiązanie zapoczątkowało szereg eksperymentów, skupionych na materialności papieru, a w końcu także drukowanego obrazu. Jednak nie tylko poszerzałem swoje zainteresowanie zjawiskami materialnymi o papier, ale także zacząłem bardziej świadomie rozważać, jak postrzegamy zjawiska materialne. Na przykład, zastanawiałem się, w którym momencie nasza percepcja przechodzi od widzenia wydrukowanego obrazu do widzenia farby na papierze. Skłoniło mnie to do zeskanowania arkuszy pogniecionego papieru w bardzo wysokiej rozdzielczości, a następnie przedrukowania tych obrazów w dużej skali. W ten sposób można było zobaczyć poszczególne włókna, z których składa się kartka papieru. W innych przypadkach obraz był powiększany tak dokładnie, że nie można było już odróżnić oryginalnego przedmiotu, natomiast ujawniały się punkty rastra, z których składa się obraz.

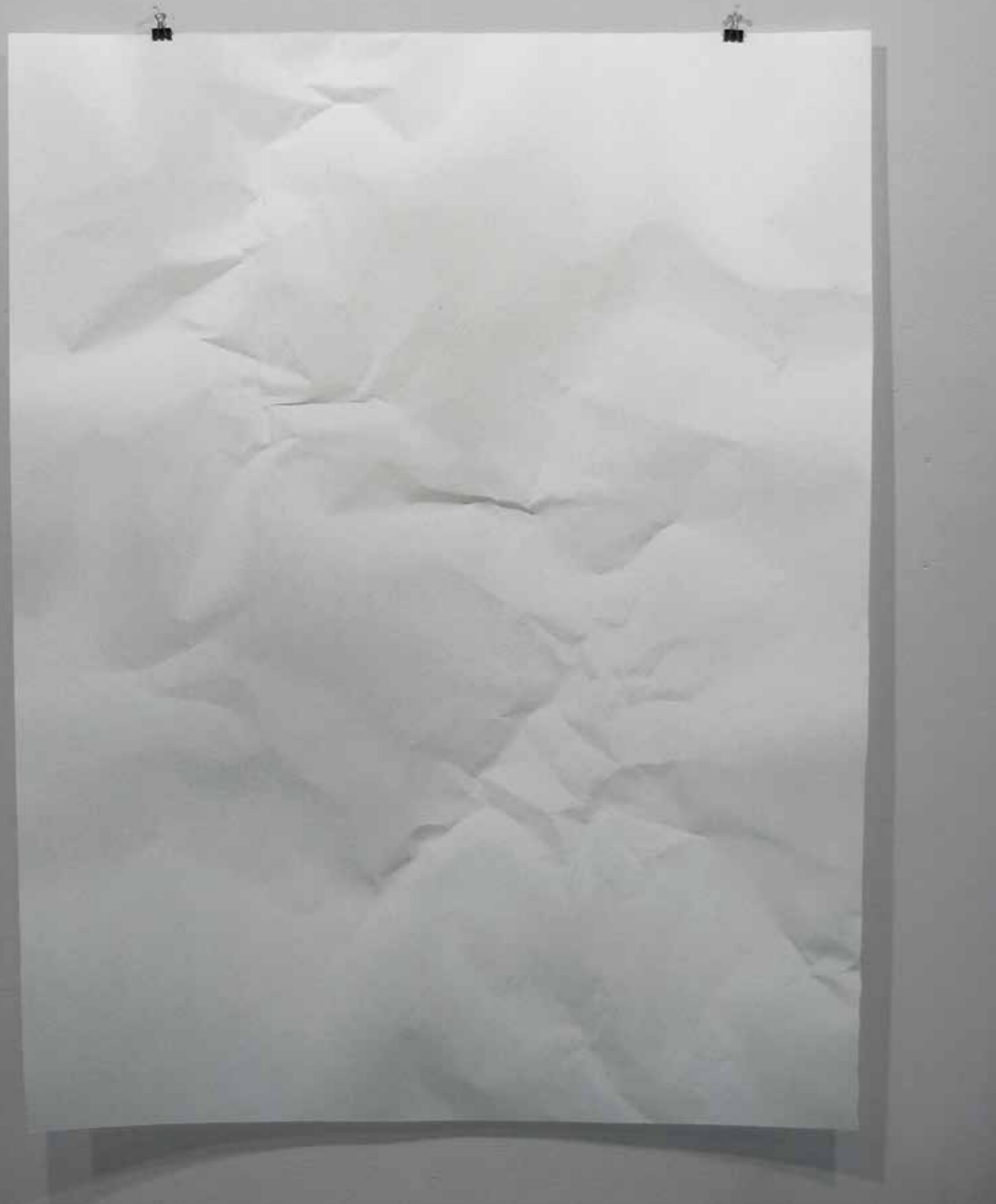
W dalszym ciągu kwestionowałem swoje wyobrażenie o papierze jako o dwuwymiarowej płaszczyźnie. Przeszlifowałem duże arkusze papieru drukarskiego, a następnie zawiesiłem zniekształcony rezultat w centrum przestrzeni. Arkusz



1. Thomas Schmidt, seria *Napięcie i Odpoczynek*, porcelana odlewana, 30×30×30 cm, 2006. Źródło: T. Schmidt
Thomas Schmidt, *Tension and Rest series*, cast porcelain, 30×30×30 cm, 2006. Source: T. Schmidt



2. Thomas Schmidt, *Eksperyment z papieru i poślizgu*, 12×12 cm, 2008. Źródło: T. Schmidt
Thomas Schmidt, *Paper and slip study*, 12×12 cm, 2008. Source: T. Schmidt



3. Thomas Schmidt, *Zgniecenie*, druk atramentowy, 122x91 cm, 2008. Źródło: T. Schmidt
Thomas Schmidt, *Crumple*, Inkjet print, 122x91 cm, 2008. Source: T. Schmidt

był miejscami perforowany, co pozwalało patrzeć przez otwory jak przez ekran; możliwość chodzenia wokół arkusza dodatkowo podkreślała jego wymiarowość. W tym samym duchu próbowałem skompresować trójwymiarową przestrzeń, drukując obrazy pogniecionego papieru na płaskich kartkach. Z każdą iteracją systematycznie przełamywałem swoje własne założenia, dotyczące obiektów w dwóch i trzech wymiarach, jak również przełamywałem związane z czasem doświadczenie interakcji ze statycznymi obiektami w obiegu i w kontekście przestrzeni.

Cyfrowe artefakty

Moje eksplorowanie papieru, jako przedmiotu badań percepcyjnych, kontynuowałem na ostatnim roku studiów, kiedy to rozpocząłem serię *Próbki Przestrzeni*. Do tej pracy zdjąłem formę z dużego arkusza pogniecionego papieru, którą następnie pociąłem na kwadranty. Pozwoliło mi to na odlanie wielu sztuk z każdej ćwiartki, a w efekcie - na wyprodukowanie dużych elementów ściennych, na których pognieciona topografia niekiedy przepływa przez panele, a niekiedy jest przerwana. Z jednej strony, odlewy służyły jako kolejna forma zapisu materialnego wydarzenia: rodzaju przypadkowej topografii powstałej w wyniku zgniecenia kartki papieru. Z drugiej strony, ta przypadkowa topografia stała się możliwa do odtworzenia, a przez to także do kontrolowania.

Co więcej, pomimo stosowania analogowych metod produkcji, seria *Próbki Przestrzeni* była pierwszym momentem, w którym zacząłem dostrzegać wyłaniający się w mojej pracy język cyfrowy. Na przykład, w ten sam sposób, w jaki muzyk elektroniczny może tworzyć rytm poprzez kopiowanie i wklejanie bitów w sekwencję, powtórzenie paneli wygenerowało rytm wizualny, ponieważ owe modułowe panele były zasadniczo kopiowane i wklejane na całej ścianie.

W 2019 roku powróciłem do tego procesu, jednak teraz z możliwością czynnego zastosowania cyfrowego języka poprzez aktywne wykorzystanie nowych technologii. Ponownie wyprodukowałem formy z pogniecionego papieru, ale tym razem z nowym schematem pracy, używając narzędzi cyfrowych w celu dekonstrukcji tego, co wytworzone zostało ręcznie. Poprzez skanowanie 3D arkusza pogniecionego papieru, byłem w stanie uchwycić fakturę powierzchni z dokładnością do ułamka milimetra. Używając tego cyfrowego formatu, mogłem kroić i manipulować pogniecioną powierzchnią. Byłem w stanie znacznie przeskalować skan, tym samym wyolbrzymiając fakturę, powstałą w procesie skanowania. Dodatkowo, cyfrowo pociąłem pogniecioną powierzchnię na trzy części. Następnie przy pomocy frezarki numerycznej (CNC) wyrzeźbiłem topografię w wosku, który można obrabiać. Następnie odlałem wiele paneli z gipsobetonu i pokryłem je wypalonym grafitem.

Zanim jednak dzieło zostało ukończone, przeszło przez serię stosunkowo subtelnych manipulacji, a każdy z tych etapów wzbogacał obiekt o ślady całego procesu. W ten sam sposób, w jaki eksperymenty z odlewaniem z mas w serii *Napięcie i Odpoczynek* stały się przykładami zmian atmosferycznych w miarę wyparowywania gliny oraz skutków witrifikacji po wypaleniu, odlewy te, które zostały wyprodukowane przy pomocy obrabianych form woskowych, ujawniły tzw. artefakty, pozostawione przez narzędzia cyfrowe, takie jak rowki powstałe w wyniku pracy frezarek CNC.

Na każdym etapie tego procesu, oryginalna pognieciona kartka nabierała właściwości, które odbiegały od jej pierwotnej postaci. Innymi słowy, zgnieciona ręcznie kartka papieru została przełożona do przestrzeni wirtualnej, poddana manipulacji, a następnie przetransponowana z powrotem do rozszerzonej przestrzeni fizycznej. Ciekawi mnie, co można zyskać, a co stracić w procesie przekładu przestrzeni rzeczywistej poprzez proces cyfrowy. Nieustannie pytam, w jaki sposób ta praca może



4. Thomas Schmidt, seria *Próbki Przestrzeni*, odlew z masy porcelanowej, 147×442×8 cm, 2009. Źródło: T. Schmidt
Thomas Schmidt, *Sampled Spaces* series, cast porcelain, 147×442×8 cm, 2009. Source: T. Schmidt

ujawnić aspekty naszej ludzkiej kondycji? Jakiego rodzaju odcisków możemy się spodziewać, nawigując po coraz bardziej wirtualnych doświadczeniach w naszym codziennym życiu?

Niedoskonała dokumentacja

W mojej praktyce warsztatowej kontynuuję badanie, w jaki sposób cyfrowe artefakty mogą odzwierciedlać aspekty naszego doświadczenia, a skanowanie 3D zaczęło odgrywać podstawową rolę w tym procesie. W 2017 roku miałem okazję odbyć rezydencję w Maryland Institute College of Art (MICA) w Baltimore wraz z trzema moimi byłymi kolegami z klasy z czasów studiów, byli to Mat Karas, Seth Payne i Kala Stein. Otrzymaliśmy dotację na wykonanie pracy, nawiązującej do historycznych realizacji z terakotowej cegły i ornamentów w dzielnicy Bolton Hill. W ramach tego projektu dokumentowałem różne miejsca, używając procesu fotogrametrii, w którym wiele zdjęć, pod różnymi kątami jest zszywanych razem, aby stworzyć trójwymiarową wizualizację (siatkę) miejsca.

Siatka 3D jest dość fascynującym artefaktem procesu skanowania, jako że nawet najbardziej skomplikowane wizualnie miejsce jest przekształcane w sieć wierzchołków i powierzchni. Używając oprogramowania 3D do poruszania się wokół siatki, miejsce to jawi się jako trójwymiarowy rysunek liniowy. Nawet bez koloru czy tonacji reprezentowanych w siatce, bliskość wierzchołków tworzy iluzję głębi, podobną do efektu szrafowania w rysunku liniowym.



5. Thomas Schmidt, seria *Próbki Przestrzeni*, odlany hydrocal i wypalony grafit, 117×460×8 cm, 2018
Thomas Schmidt, *Sampled Spaces* series, cast hydrocal and burnished graphite, 117×460×8 cm, 2018



6. Thomas Schmidt, *1709 Park Avenue*, laserowo grawerowana terra sigillata na terakocie, aluminium, 46×81 cm, 2018. Źródło: T. Schmidt
Thomas Schmidt, *1709 Park Avenue*, laser engraved terra sigillata on terracotta, aluminum, 46×81 cm, 2018. Source: T. Schmidt

Wykorzystałem to zjawisko w pracy zatytułowanej *1709 Park Avenue*. Najpierw zeskanowałem przestrzennie dekoracyjny motyw terakoty, przedstawiający postać z łuku drzwi. Następnie przypisałem siatkę jako ścieżkę dla grawera laserowego, aby odtworzyć tradycyjną technikę zwaną sgraffito.

Opracowana w XV-wiecznych Włoszech technika sgraffito polega na zdrapywaniu pomalowanej powierzchni z gliny, aby odsłonić kontrastujący kolor pod spodem [1]. W moim przypadku, rozwałkowałem i wypaliłem płytę z czerwonej gliny. Następnie pokryłem ją drobną mieszanką białej gliny, zwaną terra sigillata, czyli zapieczętowaną ziemią. Przypisany do ścieżki cyfrowej siatki, laser przeciął górną warstwę białej terra sigillata, aby odsłonić znajdującą się pod nią czerwoną glinę. Spośród moich różnych eksperymentów, ta praca była prawdopodobnie najbardziej zwięzłym przykładem zaawansowanej technologicznie reinterpretacji tradycyjnej techniki ceramicznej.

Oprócz siatki 3D, fotogrametria jest w stanie ekstrapolować informacje o kolorze każdego zdjęcia, łącząc te dane w teksturę. Podczas gdy technologia ta z pewnością ma zdolność do tworzenia bardzo dokładnych tekstur, sam z zainteresowaniem przyglądam się ograniczeniom tego procesu jako formy niedoskonałej dokumentacji. Na przykład, jeśli na zdjęciach, użytych do wygenerowania skanu 3D, brakuje jakichkolwiek kątów, takich jak spód stołu czy fałdy ubrania, to kiedy będziemy poruszać się wokół obiektu, te fragmenty kolorowej tekstury będą wydawać się zaciemnione. Podobnie, jeśli skan 3D ma ograniczone kąty lub jest ustawiony na niższą rozdzielczość, końcowy wynik może ujawnić pewne fascynujące zakłócenia, dzięki którym tekstury i siatki ujawniają fragmentaryczny lub niekompletny obraz miejsca.



7. Po lewej: *Scarab Club*, druk atramentowy, 61×102 cm, 2019. Po prawej: detal przedstawiający zaciemnione fragmenty skanu 3D. Źródło: T. Schmidt
Left: *Scarab Club*, inkjet print, 61×102 cm, 2019. Right: detail showing blacked out portions of 3D scan. Source: T. Schmidt



8. Po lewej: zdjęcia wykorzystane do skanowania 3D. Po prawej: *Korytarz pracowni*, druk atramentowy, 61×102 cm, 2020. Źródło: T. Schmidt
Left: photos used for 3D scan. Right: *Studio Hallway*, inkjet print, 61×102 cm, 2020. Source: T. Schmidt



9. Po lewej: Thomas Schmidt, *Kopalnia Danych*, różne znalezione obiekty na stalowym stanowisku z blatem frezowanym CNC, 107×152×80 cm, 2017. Po prawej: detal. Źródło: T. Schmidt

Left: Thomas Schmidt, *Data Mine*, various found objects on steel stand with CNC routed table top, 107×152×80 cm, 2017. Right: detail. Source: T. Schmidt

W 2019 roku miałem okazję wrócić do miejscowości Alfred w stanie Nowy Jork, aby przygotować się do wystawy zatytułowanej *Measured Space*. Podobnie jak mój projekt w MICA, w którym produkowaliśmy prace w odpowiedzi na sąsiedztwo Bolton Hill, ten projekt obejmował badania i tworzenie prac w nawiązaniu do wszystkich aspektów historii miasteczka Alfred. Wykorzystanie skanowania 3D stało się głównym narzędziem, dzięki któremu mogłem uchwycić osobistą refleksję na temat tego miejsca. Konkretnie, chciałem udokumentować budynek, w którym byłem studentem 10 lat wcześniej. Zrobiłem szczegółowe zdjęcia korytarzy, okien, regałów i rur. Upewniłem się, że uchwyciłem wszystkie te miejsca pod różnymi kątami, powiększając elementy, które przykuły moją uwagę. Ten proces dokumentacji posłużył mi jako okazja do refleksji nad moim czasem spędzonym w tych korytarzach, w których od tego czasu odbywały się eksperymenty wielu absolwentów.

Kiedy w końcu wprowadziłem moje zdjęcia do oprogramowania fotogrametrycznego, otrzymane skany były intrygujące. Zniekształcona natura każdego obrazu naśladowała moją własną pamięć o tym miejscu, która po 10 latach nie była już tak wyraźnym wspomnieniem, jakim mogła być wiele lat wcześniej. Podział korytarzy i różnych elementów architektonicznych zdawał się oddawać ulotną naturę tego miejsca, które jest w ciągłym stanie zmian, ponieważ studenci zmieniają się z roku na rok. W jakiś sposób te cyfrowe efekty, powstałe w wyniku połączenia programowania i przypadku, zdołały uchwycić moją emocjonalną reakcję na to miejsce w sposób, w jaki nie pozwoliłyby na to słowa.

Kolekcje i złącza

Moja refleksja nad artefaktami procesów analogowych i cyfrowych dodatkowo ujawniła złożoność i dynamizm naszej postcyfrowej kondycji. Na szczęście, sztuki wizualne oferują platformę do pracy nad tak nieuchwytnymi i amorficznymi tematami.

W 2009 roku, po ukończeniu szkoły, przyjąłem posadę nauczyciela w programie Alfred/Central Academy of Fine Art (CAFA) Ceramic Design for Industry w Pekinie, gdzie mieszkałem przez cztery lata. Było to naprawdę głębokie i pełne pokory doświadczenie na wielu poziomach. Po pierwsze, Chiny szczytują się niezrównaną historią innowacji i artyzmu w świecie ceramiki [3]. Dziś nowe pokolenie artystów stara się budować na tych bogatych tradycjach, jednocześnie wprowadzając to medium w XXI wiek. Jednocześnie, Chiny są przemysłowym centrum ceramiki na świecie, z niezliczonymi fabrykami, produkującymi zastawy stołowe, płytki, wyroby sanitarne i zaawansowane technologicznie materiały, wykorzystywane w elektronice, elektro-technice, technologii informacyjnej i komunikacyjnej.

Po powrocie do Stanów Zjednoczonych, rozpakowując swoje pudła, zacząłem zastanawiać się nad tym niezwykłym doświadczeniem. Przeglądałem setki przedmiotów, które wykonałem i zebrałem podczas pobytu w Chinach, aż do momentu, kiedy to, co przede mną stało, było chaotyczną, skomplikowaną kolekcją rzeczy luźno powiązanych tematem ceramiki. Wśród obiektów znalazły się modele wykonane cyfrowo, odłamki ceramiki z czasów dynastii Qing, fragmenty ścian pieca YiXing, ceramika high-tech, aluminium z odzysku, kawałki węgla i wiele innych. Zainspirowany przez gabinety osobliwości renesansowej Europy, chciałem zaprezentować tę kolekcję pozornie różnych obiektów w jednym miejscu, aby wzbudzić ciekawość i zdziwienie widza, a jednocześnie przedstawić coraz bardziej skomplikowaną tożsamość rzemiosła w epoce cyfrowej.

Wybrałem 24 najciekawsze obiekty z większej kolekcji. Każdy z nich został zeskanowany w 3D, tak aby jego unikalny ślad mógł zostać wryty na blacie stołu, co pozwoli widzom na podniesienie i ponowne odłożenie przedmiotów. Mając do dyspozycji przedmioty od wykonanych ręcznie po wydrukowane w 3D, miałem nadzieję stworzyć narrację o tradycji, globalizacji i rozwoju spowodowanym zmianami technologicznymi.

Ostatnio stworzyłem pracę zatytułowaną *Flora Przyszłości*, która również funkcjonuje jako abstrakcyjny asamblaż, reprezentujący rolę rzemiosła w erze postcyfrowej. Wyprodukowałem tę pracę podczas rezydencji w Jingdezhen w Chinach w 2019 roku. Jako miks historii chińskiej porcelany i historii kwiatowej dekoracji powierzchni, ceramiczne kalkomanie zostały wyprodukowane z fotografii mchu, porostów i innych roślin w lasach Jingdezhen w Chinach. Moduły zostały później złożone w celu stworzenia splecionej sieci sfer. Do modułów dołączone są historyczne odłamki ceramiki, ceramika przemysłowa, części drukowane w 3D oraz różne znalezione przedmioty, które stanowią artefakty w tej materialnej chmurze. Ponieważ wszystkie przedmioty w pewnym momencie przeszły przez proces cyfrowy, ten spleciony kolaż ma reprezentować fizyczną manifestację wirtualnych form i skomplikowany charakter ceramiki w postcyfrowym świecie.

Podsumowanie

Kiedy w pracowni zastanawiam się nad tą podróżą, stwierdzam, że połączenie narzędzi analogowych i cyfrowych pozwoliło na stworzenie środków, metod i niuansów dokumentowania współczesnych doświadczeń, które oświetlają złożoność naszych czasów. Choć czasem ledwo zauważalne, każde z zastosowanych narzędzi osadza powstały obiekt w artefaktach i odciskach. Sztuki wizualne oferują platformę do pracy nad nieuchwytnymi i amorficznymi tematami, stąd też ta praca prowadzi mnie do określonego celu: bycia świadomym bodźców, które nas kształtują. Dostrzeżmy odciski w nas samych, pochodzące ze wszystkich źródeł, oraz to, w jaki sposób te źródła przynoszą ze sobą ukryty sens, pomimo niejednoznaczności.



10. Po lewej: Thomas Schmidt, *Flora Przyszłości*, odlew z porcelany, kalkomania ceramiczna, odłamki ceramiki, drukowany 3D PLA i media mieszane, 48×40×46 cm, 2019. Po prawej: detal. Źródło: T. Schmidt

Left: Thomas Schmidt, *Future Flora*, cast porcelain, ceramic decals, pottery shards, 3D printed PLA and mixed media, 48×40×46 cm, 2019. Right: detail. Source: T. Schmidt

As digital interfaces and experiences become inextricably linked with every aspect of our collective experience, how have we in turn adapted our perception of the world around us? Do our physical experiences exist in contrast to the virtual, or might there be a more nuanced paradigm? In this paper, Thomas Schmidt explores the amorphous nature of digital fabrication within a contemporary studio art practice. From the perspective of an artist and educator with a foundation in ceramic art, Schmidt shares his path towards integrating analog methods with 3D modeling and digital fabrication, and how these seemingly disparate approaches to making might coexist to reflect upon subjects such as chance, time, change and memory.

Keywords: postdigital, 3D scanning, 3D printing, ceramics, digital fabrication

Blurring Boundaries: Studio Experiments in a Post-digital Landscape

— Thomas Schmidt

Interdisciplinary 3D Studio, College of Art and Architecture
The University of North Carolina at Charlotte, USA

schmidtceramics@gmail.com

As author Jonathan Openshaw states in his introduction to the book *Postdigital Artisans*, we now live in a post-digital world in which “a digital mindset is inextricably entangled with our existence, whether or not the digital technology is actually present.” [2, p. 5] In other words, the boundaries between analog and digital, physical and virtual, are deeply intertwined with all aspects of our lives. From this vantage point, I believe art and design have the potential to illuminate this cultural condition of blurred boundaries and to represent the integration of seemingly disparate aspects of our experience. Over the past 20 years, I have been working as a ceramist using analog tools while increasingly utilizing 3D modeling and digital fabrication to augment traditional craft processes. My work engages both the virtual and the physical as a means of reframing sensory experience for the post-digital age. In this paper, I hope to share my journey through this territory and my exploration of analog and digital methods as means to reflect upon on subjects such as chance, time, change, and memory within a post-digital landscape.

Sampling the ephemeral

To set the stage for how I came to integrate digital tools in my studio practice, I must first touch upon one of the threads that has run throughout my studio practice: the notion of visual art as a record or sample. This interest was sparked about 15 years ago while pursuing a Post-Baccalaureate Certificate at the School of the Art Institute of Chicago. I was inspired by a variety of scientific studies, such as ice cores that operate as time capsules and aid in climate change research. While my work was not part of a scientific discourse, the notion of sampling fascinated me by how it suggested that we might generate a time-stamp of experience: a kind of specimen of the ephemeral.

In my case, these specimens were generated through an unconventional approach to mold making and slip casting. To provide some context, slip casting is widely used in industry for mass producing ceramic objects. In such a workflow, one fills the mold with liquified clay and the porosity of the plaster mold pulls moisture from the liquid clay, thereby forming a shell of clay that conforms to the interior shape of the mold. The shell of clay continues to thicken as particles of clay are drawn towards the plaster mold. Typically, the shell reaches the desired thickness of around 5mm in approximately 10 minutes, at which point the mold is flipped and the remaining casting slip is allowed to drain from the mold.

Instead of being concerned with the reproducibility of the object, I was more interested in exploiting the slip casting process as a study of material phenomena. As such, in my version of this process, the form was simply a cube, and rather than draining the mold after approximately 10 minutes, I allowed the casting slip to settle and evaporate for weeks until bone dry. Each day that I returned to the studio, the porcelain slip had settled into the mold a little further, producing visible ridges as the water was gradually absorbed by the mold. In this way, the clay became a document of atmospheric change made evident by any deviation from the shape of a cube. The firing then became another variable, essentially fusing this “event” in place. The intense expansion and contraction produced dramatic cracks, which then fused back together once the clay had reached 1330°C. This process inspired the title *Tension and Rest* for this series of works, and this method of orchestrating a material event would come to set the stage for many future works.

Mining the zone between 2D and 3D

In 2007, I began graduate school at The New York State College of Ceramics at Alfred University. With the memory of these prior slip casting experiments in mind, I conducted an even simpler experiment: dripping a dollop of casting slip onto paper. Like in the *Tension and Rest* series, this experiment resulted in another material exchange. In this case the paper acted as a kind of mold, but unlike the plaster this mold visibly bent in response to the moisture.

This interrelation sparked a number of experiments focused on the materiality of paper and, eventually, of the printed image as well. However, I was not only expanding my interest in material phenomena to include paper, but I was also beginning to consider more consciously how we *perceive* material phenomena. For instance, I wondered at what point does our perception shift from seeing a printed image to seeing ink on paper. This led me to scan sheets of crumpled paper at very high resolution and then reprint the images at a large scale. In doing so, one could see the individual fibers that comprised the sheet of paper. In other variations, an image was magnified so closely that the original subject was no longer distinguishable but the halftone dots that comprise the image were revealed.

I continued to challenge my own preconception of paper as a two-dimensional plane. I sanded through large sheets of printmaking paper and then hung the distressed result in the center of a space. The sheet had become perforated in places, allowing one to see through holes as if looking through a screen; the ability to walk around the sheet further emphasized its dimensionality. In the same vein, I tried to compress three-dimensional space by printing images of crumpled paper onto flat sheets of paper. With each iteration, I was systematically breaking down my own assumptions about objects in two and three dimensions, as well as breaking down the time-based experience of interacting with static objects in the round and in the context of a space.

Digital artifacts

My exploration of paper as a subject for perceptual study continued in my final year of graduate school when I began my *Sampled Spaces* series. For this work, I made a mold of a large sheet of crumpled paper, which I then cut into quadrants. This allowed me to cast multiples of each quadrant and ultimately produce large wall pieces on which this crumpled topography would at times flow across the panels and at times be interrupted. On the one hand, the casts served as another form of recording a material event: the kind of random topography created from crumpling a sheet of paper. On the other hand, this random topography had been made reproduceable, and thereby controlled.

Furthermore, despite using all analog methods of production, the *Sampled Spaces* series was the first time where I began to see a digital language emerging in my work. For example, in the same way that an electronic musician might create a rhythm by copying and pasting beats into a sequence, the repetition of panels generated a visual rhythm, as these modular panels were essentially copied and pasted across the wall.

In 2019 I revisited this process, only now with the ability to more actively bring this digital language into play through the active use of new technologies. I again produced molds of crumpled paper, but this time with a new workflow, using digital tools to deconstruct the handmade. By 3D scanning a sheet of crumpled paper, I was able to capture the surface texture to within a fraction of a millimeter. Using this digital format, I could slice and manipulate the crumpled surface. I could scale up the scan significantly, thereby exaggerating the texture produced by the scanning process itself. Additionally, I digitally sliced the crumpled surface into three sections. Next, I used a computer numeric control (CNC) router to carve this topography into machinable wax. From there, I cast multiple panels in gypsum cement and surfaced the panels with burnished graphite.

By the time it was completed, the final piece had gone through a series of relatively subtle manipulations, with each step embedding the object with evidence of the process. In the same way that the slip casting experiments in the *Tension and Rest* series became specimens of atmospheric change as the clay evaporated, and of the stresses of vitrification once fired, these casts that had been produced with the machined wax molds revealed the artifacts of digital tools, such as the grooves left by the CNC router bits.

In each stage of this process, the original crumpled sheet took on artifacts that deviated from the original event. In other words, the hand-crumpled sheet of paper was translated into a virtual space, manipulated, and then transposed back into an augmented physical space. I am interested in what might be gained and lost in a translation of *real* space through a workflow of digital processes. And I continue to ask, how might this work reveal aspects of our human condition? What kind of imprints might we experience as we navigate increasingly virtual experiences in our daily lives?

Imperfect documentation

In my studio practice, I continue to explore how digital artifacts might reflect aspects of our experience, and 3D scanning has come to play a primary role in this process. In 2017 I had the opportunity to do a residency at the Maryland Institute College of Art (MICA) in Baltimore with three of my former classmates from graduate school; Mat Karas, Seth Payne and Kala Stein. We had received a grant to make work responding to the historical terracotta brick work and ornamentation in the neighborhood of Bolton Hill. As part of this project, I documented various sites using a process of photogrammetry, in which multiple photographs from various angles are stitched together to create a 3D mesh of the site.

The 3D mesh is quite a fascinating artifact of the scanning process, as even the most visually complex site is distilled into a web of vertices and faces. Using 3D software to orbit around the mesh, the site appears as a three-dimensional line drawing. Even without any color or tone represented in the mesh, the proximity of vertices creates an illusion of depth similar to the effect of crosshatching in a line drawing.

I exploited this phenomenon for a piece titled *1709 Park Avenue*. First, I 3D scanned a decorative terracotta motif of a figure from the archway of the doorway. I then assigned the mesh as a path for a laser engraver in order to recreate a traditional technique called sgraffito. Developed in 15th century Italy, sgraffito is a technique whereby one scratches through a painted clay surface to reveal a contrasting color underneath. [1] In my case, I had rolled out and fired a slab of red earthenware clay. I then coated the slab with a fine white clay mixture called terra sigillata, or sealed earth. Assigned to the path of the digital mesh, the laser cut through the top coating of white terra sigillata to reveal the red clay underneath. Of my various experiments, this piece was perhaps the most succinct example of a high-tech reinterpretation of a traditional ceramic technique.

In addition to the 3D mesh, photogrammetry is capable of extrapolating the color information of each photograph, combining this data as a *texture*. While this technology certainly has the ability to produce highly accurate textures, I am interested in the limitations of this process as a form of imperfect documentation. For example, if the photos used to generate a 3D scan are missing any angles, such as the underside of a table or a fold in one's clothing, then when you orbit around the object, those sections of the color texture will appear blacked-out. Similarly, if a 3D scan has limited angles, or is set up for lower resolution, the final output can reveal some fascinating glitches whereby the textures and meshes reveal a fragmented or incomplete portrayal of the site.

In 2019 I had the opportunity to return to the town of Alfred, NY to prepare for an exhibition titled *Measured Space*. Similar to my project at MICA in which we produced work in response to the neighborhood of Bolton Hill, this project involved researching and producing work in response to all aspects of the history of Alfred. The use of 3D scanning became a prominent tool with which to capture a personal reflection of this site. Specifically, I wanted to document the building where I had been a student 10 years prior. I snapped detailed pictures of the hallways, windows, shelving, and pipes. I made sure to capture these sites at various angles, zooming into features that caught my eye. This process of documentation served as an opportunity to reflect on my time in these hallways, which had since housed the experiments of many graduates.

When I finally imported my photographs into the photogrammetry software, the resulting scans were intriguing. The distorted nature of each image emulated my own memory of the site, which after 10 years was no longer the crisp, clear recollection that it might have been years earlier. The fragmentation of the hallways and various architectural features seemed to encapsulate the ephemeral nature of the site, which is in a constant state of flux as a flow of students enter and exit the program year after year. Somehow, these digital effects, derived from a combination of programming and happenstance, managed to capture my emotive response to a site in a way that words could not.

Collections and connectors

My reflection on the artifacts of analog and digital processes further revealed the complexity and dynamism of our post-digital condition. Thankfully, the visual arts offer a platform for working through such elusive and amorphous topics.

Back in 2009, after graduate school I accepted a teaching position at the Alfred/Central Academy of Fine Art (CAFA) Ceramic Design for Industry Program in Beijing, where I lived for four years. This was a truly profound and humbling experience on a number of levels. First of all, China boasts an unparalleled history of innovation and artistry in the world of ceramics [3]. Today, a new generation of artists seeks to build upon these rich traditions while pushing the medium into the 21st century. Simultaneously, China is the industrial ceramics center of the globe, with countless factories producing tableware, tiles, sanitary ware, and high-tech materials used in electronics, electrical engineering, and information and communication technology.

Upon returning to the United States, I began to reflect on this remarkable experience while unpacking my boxes. I was sifting through the hundreds of objects I had made and collected while in China until what sat in front of me was a messy, complicated collection of things connected loosely by the topic of ceramics. The objects included digitally fabricated models, Qing Dynasty ceramic shards, YiXing kiln-wall scrap, high tech ceramics, recycled aluminum, and pieces of coal, among many other objects. Inspired by the cabinets of curiosities of Renaissance Europe, my idea was to present this collection of seemingly disparate objects together on one table to generate curiosity and wonder in the viewer while also representing the increasingly complicated identity of craft in a digital age.

I selected 24 of the most interesting objects from the larger collection. Each object was 3D scanned, so that the object's unique footprint could be CNC routed into a table-top, thereby allowing viewers to pick up and return the pieces. With objects ranging from the handmade to the 3D printed, I hoped to create a narrative about tradition, globalization, and developments brought about through technological change.

More recently, I produced the piece *Future Flora* that too operates as an abstract assemblage representing the role of craft in the post-digital age. I produced this piece while on a residency in Jingdezhen, China, in 2019. As a remix of the history of Chinese porcelain and the history of floral surface decoration, the ceramic decals are produced from photographs of moss, lichen, and other plant life in the forests of Jingdezhen, China. The modules were later assembled to create a tangled network of spheres. Attached to these modules are historical pottery shards, industrial ceramics, 3D printed parts, and various found objects as artifacts within this material cloud. With all items at some point passing through a digital process, this tangled collage is intended to represent a physical manifestation of virtual forms and the complicated state of ceramics in the post-digital world.

Conclusion

As I reflect upon this journey in the studio, I believe that the combination of analog and digital tools has allowed for a means, method, and flavor of documenting contemporary experiences that illuminate the complexity of our time. Although barely noticeable at times, each tool utilized embeds the resulting object with artifacts and imprints. The visual arts offer a platform for working through elusive and amorphous topics, and as such this body of work guides me towards a purpose: to be conscious of the stimuli that shape us. Let us see the imprints within ourselves, from all sources, and how these sources bring embedded meaning, despite the ambiguity.

Bibliografia Bibliography

- [1] Hamer F. & Hamer J., *Sgraffito* [w:] *The Potter's Dictionary of Materials and Techniques*. A & C Black, 2004.
- [2] Openshaw J., *Post-digital Artisans*, Frame Publishers, 2015.
- [3] Zhiyan L., Bower V.L., Li H., *Introduction* [w:] *Chinese Ceramics: From the Paleolithic Period Through the Qing Dynasty*, Yale University Press, 2011.

Świat przez nas – ludzi postrzegany jest jako wypadkowa bodźców, które są odbierane przy pomocy naszych zmysłów. Od indywidualnej wrażliwości odbiorcy zależy, czy docierające do niego sygnały wzroku, dotyku lub smaku będą miały bardziej lub mniej intensywny wpływ na jego postrzeganie rzeczywistości. Niestety, nasze zmysły dostosowane są tylko do odbierania odpowiednich dla siebie sygnałów. W momencie, kiedy chcemy zajrzeć do niedostępnych dla nas obszarów, musimy skorzystać z najnowszych zdobyczy technologicznych naszej cywilizacji. Obecnie, gdy powszechny dostęp do mediów cyfrowych wygenerował w społeczeństwie potrzebę nieustannego śledzenia wybranych treści multimedialnych, mamy do czynienia ze zjawiskiem smogu elektromagnetycznego, który – choć niewidoczny dla oczu – wpływa na nasze zdrowie i samopoczucie [1, s. 51]. Jak zwykle, znaleźli się zwolennicy jak i przeciwnicy nowych technologii, ale szybkość przesyłania danych i ogólnodostępny sposób komunikowania się społeczeństwa światowego przyczyniły się do upowszechnienia urządzeń nadawczo-odbiorczych, które mają bezpośredni wpływ na postęp cywilizacji.

Słowa kluczowe: radio programowalne, fala radiowa, przestrzeń trójwymiarowa

Moja droga artystyczna do druku 3D fal elektromagnetycznych

Fale elektromagnetyczne mogą mieć różną długość – czyli odległość między kolejnymi „grzbietami” – z czego wynika ich częstotliwość – czyli miara tego, ile razy w ustalonej jednostce czasu, zwykle 1 sekundzie, przez dany punkt przejdzie grzbiet fali [1, s. 6].

— Marcin Noga

**Wydział Sztuki, Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny
im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu**

mnoga.ws@uthrad.pl

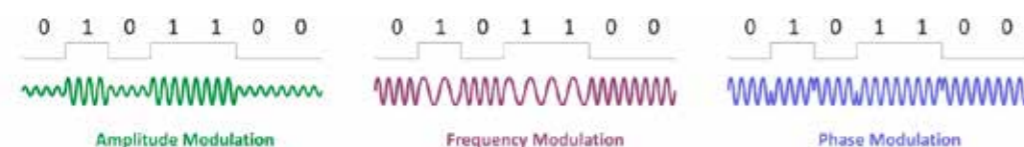
Wstęp

Od dawna ludzkość używała różnych form sygnalizowania w celu przekazywania informacji. Już w 400 roku p.n.e. w Grecji podjęto próby komunikowania się na odległość przy pomocy systemu sygnalizacji świetlnej poprzez odbijanie promieni słonecznych przy pomocy luster, umieszczonych na wieżach sygnalizacyjnych. Na terenach Imperium Rzymskiego i Chińskiego popularną metodą komunikacji były znaki dymne (dziś zwane telegrafem optycznym). Władcy tamtych obszarów korzystali z systemu pocztowego przy pomocy gołębi pocztowych bądź gońców. Na terenie Europy w 1464 roku utworzono oficjalny system pocztowy we Francji, który przez kolejne 50 lat swoim zasięgiem objął też sąsiednie kraje [12]. Kolejnym ważnym etapem rozwoju w przekazywaniu informacji jest telekomunikacja, czyli przesyłanie zawartości wiadomości. W XIX w. przy pomocy sieci przewodów telegraficznych, a od początku XX w. także bezprzewodowo. W dobie rozwoju telekomunikacji powstał także telefon (z grec. daleko+głos), służący do przesyłania dźwięków na odległość, w odróżnieniu od telegrafu, który wysyłał różnej długości impulsy elektryczne, które wprawiały w ruch rylec, zapisujący treść depeszy na taśmie papierowej. Pionierem wdrożenia telegrafu bezprzewodowego był Guglielmo Marconi, który w 1901 roku przesłał wiadomość z Europy do Ameryki Północnej [8], którą były trzy kropki, czyli litera S w alfabecie Morse'a [4]; uważany jest za prekursora komunikacji cyfrowej (il. 1).



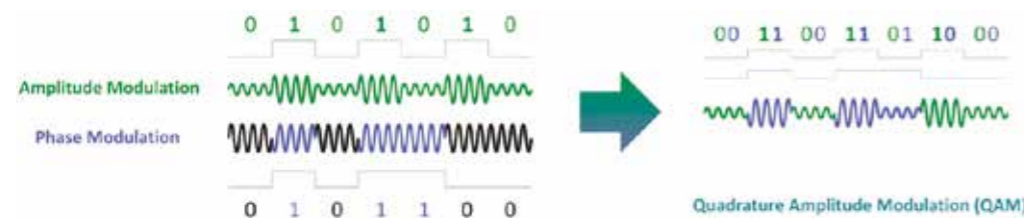
1. Przykład widma dźwięku sygnału analogowego i sygnału cyfrowego.
Example of audio spectrum of analog signal and digital signal

Zanim fale elektromagnetyczne zostały wykorzystane do celów komercyjnych poprzez przesyłanie dźwięku bezprzewodowo, były używane w nawigacji morskiej oraz na potrzeby wojska przy pomocy kodu Morse'a, czyli sposobu reprezentacji alfabetu i cyfr w postaci tylko dwóch symboli (popularnie zwanych kreską i kropką). W 1920 roku rozpoczęto pierwsze regularne nadawanie programów radiowych w USA, a wcześniejszą próbą o dużym zasięgu była m.in. transmisja muzyki z gramofonu, którą odbierano w odległości do 500 km. Nadajnik był umieszczony w Paryżu na wieży Eiffla. W Polsce stałe audycje radiowe rozpoczęto nadawać z Warszawy od marca 1926 roku [1, s. 33], a pierwsze przenośne odbiorniki na baterie stały się popularne już pod koniec lat 50. XX wieku. Dopiero pod koniec 1970 roku w USA 50,1% odbiorców radia słuchało stacji FM [3], wykorzystując nową, bardziej odporną na zakłócenia, modulację częstotliwości (FM – Frequency Modulation) (il. 2), oferującą wierniejszą jakość dźwięku, kończącą historyczną przewagę nad modulacją amplitudy (AM – Amplitude Modulation) [1, s. 37].



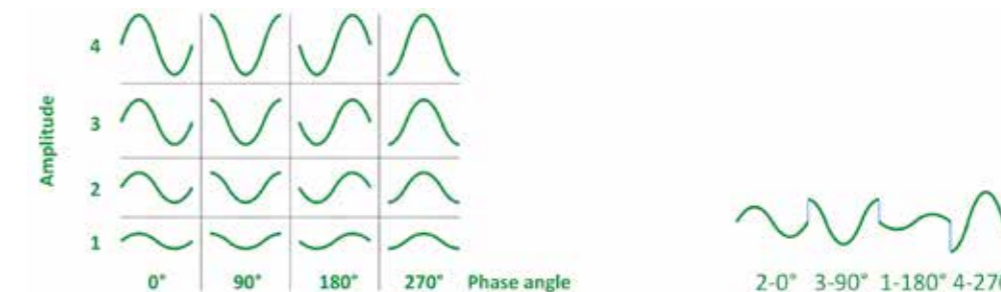
2. Rodzaje modulacji. Źródło: M. Noga
Three types of modulation. Source: M. Noga

Prace nad telefonem bezprzewodowym rozpoczęto już w latach 40. XX wieku, a w roku 1956 szwedzka firma Ericsson opatentowała pierwszy telefon komórkowy [6]. Jednak dopiero pierwsze sieci komórkowe zostały uruchomione w 1981 roku w Szwecji i Norwegii. Współcześni użytkownicy i ich smartfony są niemalże nierozłączni. To urządzenie mobilne jest połączeniem telefonu z wydajnym miniaturowym komputerem, które służy nie tylko do rozrywki, ale także do pracy i nauki. W większości są one bez przerwy połączone z siecią bezprzewodową przy pomocy fal elektromagnetycznych oraz wykorzystują nowe zaawansowane algorytmy transmisji danych. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu kwadratowej modulacji amplitudowo-fazowej (QAM – Quadrature Amplitude Modulation) o lepszej wydajności widmowej, służącej do przesyłania danych cyfrowych przez kanał radiowy. Łączy ona jednocześnie dwie modulacje: amplitudową i fazową (il. 3).



3. Schemat łączenia dwóch sygnałów w jedną modulację/kombinację. Źródło: M. Noga
Diagram of combining two signals into one modulation. Source: M. Noga

Obecnie, dzięki powszechnemu dostępowi do urządzeń nadawczo-odbiorczych, fale radiowe są zasobem współdzielonym przez wielu użytkowników. Nadajniki radiowe, usytuowane na tym samym obszarze, próbując nadawać jednocześnie na tej samej częstotliwości, będą się wzajemnie zakłócać. W systemie analogowym nakładanie się takich fal powoduje zniekształcony odbiór, a w systemie cyfrowym spadek prędkości transmisji, gdyż po przekroczeniu pewnych parametrów następuje przerwa w transmisji. Aby uzyskać większe prędkości transmisji danych, projektanci systemów telekomunikacyjnych wykorzystują coraz wyższe częstotliwości oraz modulacje (il. 4.) o szybszym przesyśle danych, które wymagają wyższego współczynnika stosunku sygnału do szumu (SNR – Signal to Noise Ratio).



4. Diagram konstelacji szesnastu symboli (z lewej) i przykładowy wykres fali (z prawej). Źródło: M. Noga
Constellation diagram of the sixteen symbols (left) and sample waveform (right). Source: M. Noga

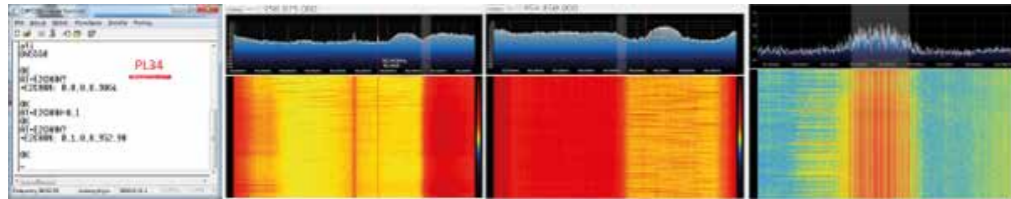
Głównym, aktualnym motywem działań twórczych jest ukazanie przestrzeni niewidzialnej oraz subiektywna interpretacja rejestrowanych fal radiowych. Na podstawie dwudziestoletniego doświadczenia w śledzeniu rozwoju sieci komórkowych, budowie i zasadach jej funkcjonowania oraz powstawaniu niemalże każdego nowego nadajnika. Poprzez dzielenie się informacjami na forach internetowych, w 2009 roku powstał blog: *marcinnoga75.blogspot.com*, opisujący zagadnienia ogólnotechniczne oraz zapisujący przebieg bądź wynik przeprowadzanych doświadczeń. Jest on podstawą do znajdowania różnicy oraz zmian technologicznych na przestrzeni lat. Dodatkowo, może posłużyć jako wzór procedury wykorzystanej podczas przeprowadzania doświadczeń. W 2006 roku, pomimo możliwości korzystania z internetu w roamingu międzynarodowym przy pomocy telefonu komórkowego, ceny były tak wysokie, że fakt przesłania trzech małych zdjęć został odnotowany na blogu jako ważny test telekomunikacyjny (il. 5).



5. Archiwalne obrazy z 2006 roku, opisujące wielkość transmisji danych [9]
Archived images from 2006 describing the volume of data transmission [9]

Rejestracja fal radiowych

Punkt wyjścia stanowiło poszukiwanie urządzeń jak i metod do automatycznych rejestracji parametrów technicznych sieci radiowych. Kolejnym ważnym etapem było uzyskanie licencji operatora radiowego poprzez zdanie egzaminu państwowego w Urzędzie Komunikacji Elektronicznej. Umożliwia ona odbieranie fal radiowych, ale też nadawanie przy pomocy urządzeń nadawczych na pasmach amatorskich. Pozwoliło to w sposób teoretyczny jak i praktyczny na zrozumienie zagadnienia przesyłania fal radiowych. Poniżej przedstawione są modyfikacje programowe odbiornika DVB-T do rejestracji fal radiowych sprzed dziesięciu lat, powstałe w celu archiwizacji szumu elektromagnetycznego, generowanego przez nadajniki komórkowe.



6. Parametry oraz widmo nowej sieci komórkowej z 2013 roku [10]
Parameters and spectrum of the new 2013 mobile network [10]

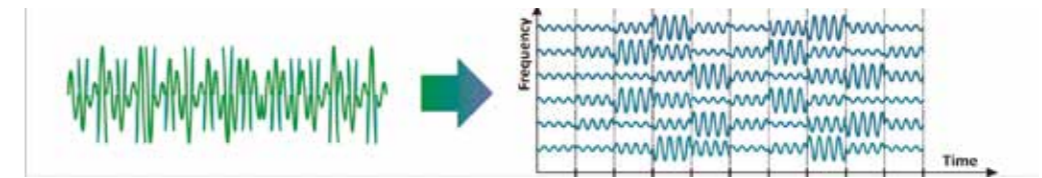
Mobilna platforma, rejestrująca w trybie ciągłym fale radiowe, dzięki której istnieje możliwość szczegółowego rejestrowania fal radiowych podczas podróży, może działać na dwa sposoby. Dokonując obliczeń w czasie rzeczywistym i uzyskując od razu odpowiedź lub zapisując cały strumień danych, można później dokonać dowolnej transformacji danych cyfrowych. Ważnym etapem realizacji projektu był zdalny dostęp do stacji mobilnej, podpiętej do internetu, która została przewieziona niemalże przez całą Europę, gromadząc m.in. informacje na temat rozchodzenia się fal w różnie ukształtowanych terenach, aktywność użytkowników na przestrzeni pór dnia, odmiennych w różnych krajach, oraz na terenach miejskich i wiejskich, a także programując parametry (szybkość, zakres) rejestrowanych fal radiowych (Fig. 9).



7. Mobilna platforma rejestrująca fale radiowe (Raspberry Pi + DVB-T)[11]
Mobile radio wave recording platform (Raspberry Pi + DVB-T)[11]

Czas przesyłania danych w roamingu jest bardzo ograniczony, przez co większość danych nie jest widoczna w formie zdalnej. Część wykresów, mających stanowić jedynie ilustrację do danych statystycznych, okazała się atrakcyjną formą plastyczną. Pozwoliło to na dalsze poszukiwanie metody transpozycji amplitudy energii fali na obrazy graficzne poprzez nadanie odpowiednio dobrego schematu kolorystyki zarejestrowanym odczytom. Wieloaspektowość fali niekorzystnie wpływa na odczyt treści. Dlatego selektywna redukcja okazała się niezbędna. Dodatkowo, ilość i szczegółowość zgromadzonych danych przewyższa realną możliwość prezentacji danych, ale klasyczne zmniejszanie grafik (uśrednianie detali) wprowadza artefakty, zaburzające odczyt właściwego obrazu. Sieci bezprzewodowe WiFi czy telefonii komórkowej LTE i 5G wykorzystują metodę

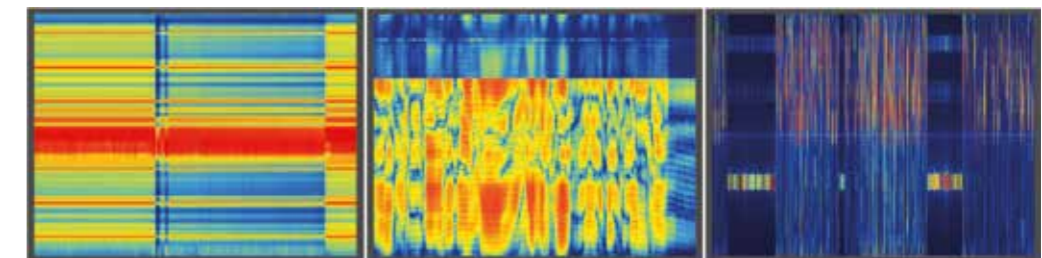
z wielokrotnianiami z ortogonalnym podziałem częstotliwości Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM), polegającą na jednoczesnym rozłożeniu transmisji o dużej przepływności na kilka wolniejszych strumieni (il. 8). Widmo sygnału przez takie systemy wypełnia całkowicie kanał radiowy.



8. Schemat rozłożenia transmisji o dużej przepływności na sześć wolniejszych strumieni. Źródło: M. Noga
Diagram of the distribution of the high-speed transmission into six slower streams. Source: M. Noga

Zarejestrowane wyniki potwierdziły trafność założenia rejestracji fal elektromagnetycznych w ruchomej rejestracji, lecz w różnych warunkach środowiskowych. Dane zebrane z tych samych systemów radiowych, sąsiadujących krajów europejskich, w których obowiązuje ten sam system transmisji, powinny być do siebie zbliżone. Jednak tak nie jest. Gęstość siatki nadawczej, obciążenie systemu przez użytkowników, indywidualne konfiguracje lokalnych operatorów, miejsce i sposób montowania anten oraz charakter zabudowań czy rzeźby terenu nadają grafikom indywidualny wyraz plastyczny, powstały z zarejestrowanych fal.

Następnym etapem było poszukiwanie nie tylko nowych nadajników, ale także zamierzonej rejestracji fal, w celu uzyskania artystycznych grafik cyfrowych, których źródłem są fale radiowe, zbierane podczas przemieszczania się stacji rejestrującej. Segregacja polegała na wybieraniu spośród zgromadzonego materiału subiektywnie najbardziej interesujących fragmentów i przedstawieniu ich na dużych wydrukach, na papierze fotograficznym. Poniższe grafiki (il. 9) przez swoją świetlistość były bardzo zbliżone do obrazów oglądanych na ekranie monitora. Jednak po pewnym czasie sposób prezentacji okazał się niewystarczający, aby w sposób adekwatny móc przedstawić niewidzialne dla ludzkiego oka fale radiowe.



9. Jedne z pierwszych prac autorskich, ilustrujących fale elektromagnetyczne. Źródło: M. Noga
Some of the first author's work illustrating electromagnetic waves. Source: M. Noga

Realizacja projektu

W celu znalezienia metody przedstawienia tego zjawiska odbiorcom w sposób przystępny, wykorzystano specjalnie zaprojektowane algorytmy selekcji i transformacji danych, użytych podczas badań nad falami elektromagnetycznymi. Uwzględniając rozwój technologiczny w zakresie urządzeń, a zwłaszcza drukarek i materiałów konstrukcyjnych, tworzywo okazało się najbardziej odpowiednią formą przedstawienia treści, zawartej w konkretnym zjawisku falowym. Korzystając z dostępnych środków w sposób adekwatny do wytyczonych celów, kształtowane były struktury budujące grafiki. Następnym etapem było wykorzystanie wielu warstw folii, przedzielonych przezroczystymi arkuszami pleksi,

na które delikatnymi nacięciami zostały naniesione rysunki. To umożliwiło zbudowanie warstwowej grafiki przestrzennej. Inspiracją tego projektu były: zasada działania oraz zdjęcia z tomografu komputerowego. Dolne warstwy obrazu zawierały informacje o niewielkiej sile fali radiowej, a górne, znajdujące się bliżej odbiorcy, obrazowały silniejszy sygnał. W wyniku tego powstał cykl prac, mający na celu oddanie głębi eteru rozchodzących się fal, przedstawiony na indywidualnej wystawie. W celu przybliżenia zagadnienia odbiorcom, fale elektromagnetyczne zostały przetransponowane na autorskie obrazy, skonstruowane tak, aby oglądający mogli zanurzyć się w nieuchwytej dla nich przestrzeni.

Rozpoczęte działania mają na celu stworzenie optymalnego algorytmu, który pozwoli na jak najlepsze oddanie złożonego charakteru zjawiska. Niestety, forma przekazu obrazu w dużej mierze zależy od technologii wizualizacji, więc odpowiedni jej dobór będzie najlepiej odzwierciedlał uzyskane wyniki analizy danych. Śledzenie rozwoju nauki w niezależnych od siebie dziedzinach i korzystanie z ich osiągnięć, umożliwiło zmodernizowanie autorskich algorytmów, obrazujących wyniki prowadzonych badań. Eksperymentowanie z materiałami konstruującymi grafiki, przy odpowiednim doborze parametrów wydruku, pozwoliły na uzyskanie najbardziej zadowalających efektów wizualnych. Przedstawienie własnych badań, w formie prac plastycznych, zapoczątkowało cykle dwuwymiarowych, a później trójwymiarowych grafik, ukazujących wygenerowaną algorytmicznie przestrzeń, odwzorowaną przy użyciu drukarki 3D. Metoda ta daje większe spektrum kreacji twórczej. Umożliwia działania kompozycyjne nie tylko poprzez łączenie kolorów, ale przez możliwość uzyskania skomplikowanej faktury powierzchni wydruków. Wyrazem artystycznego poszukiwania stały się monolityczne przedstawienia ulotnego zjawiska falowego.

Drugim aspektem w procesie twórczym jest sam proces przygotowania danych trójwymiarowych na potrzeby druku bądź obróbki 3D. W przypadku powstawania prac graficznych, pełniących funkcję matryc przestrzennych, potrzebna jest nie tylko analiza kątów pomiędzy ścianami, ale także kształtu formy, uwzględniającej wielkość narzędzia, oraz możliwości obróbki czy parametry materiału, z którego będzie wykonywana wizualizacja lub matryca (il. 10) do wykonania m.in. odlewu gipsowego lub ceramicznego. Pierwsza wykonana matryca zawierała małe zagłębienia, w które wniknęła glina i to uniemożliwiło wyjęcie odcisku z matrycy.



10. Obróbka matrycy na ploterze CNC. Źródło: M. Noga
Machining the die on a CNC router. Source: M. Noga

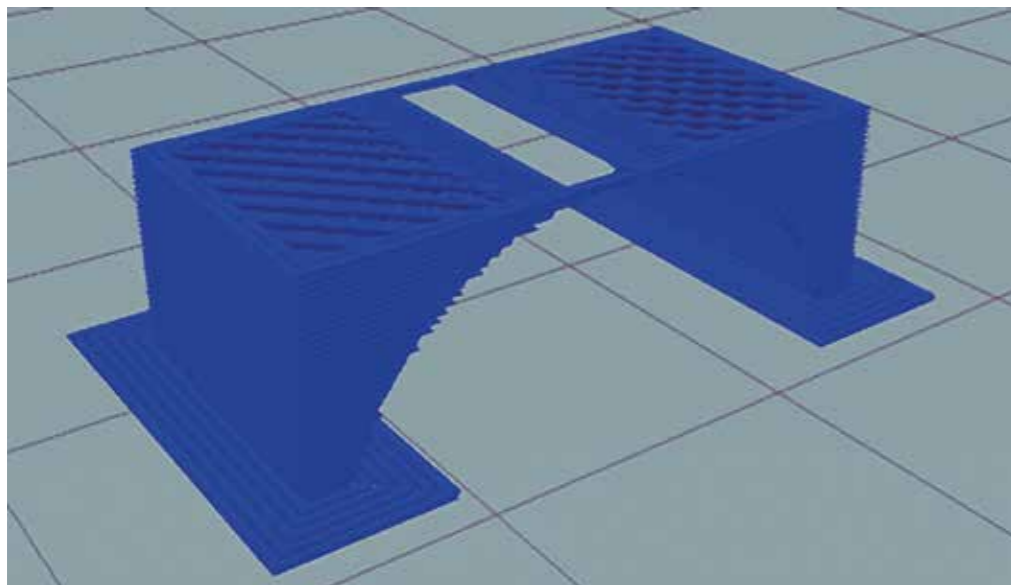
W kolejnej próbie zastosowana została większa średnica frezu kulowego jako naturalnego filtra przestrzennego powierzchni. Doświadczenia te stały się przyczynkiem do poszukiwania algorytmu podziału struktury na warstwy: treści pod względem oceny ważności struktury i warstw wyłącznie konstrukcyjnych bryły. Dodatkowo, podczas przygotowania cyfrowej matrycy, ważnym zagadnieniem w procesie obliczeniowym jest analiza ścian bocznych bryły oraz analiza porowatości powierzchni. Do tego celu wykorzystano narzędzia programu *MeshLab*, przy pomocy których poddano filtrowaniu tylko te wektory, które nie spełniają założonych kryteriów. W wyniku usunięcia elementów bądź zmiany kierunków wektorów niepożądanych, mogą powstać dziury siatki przestrzennej, które na następnym etapie są naprawiane przy pomocy funkcji *Close Holes*. Program kończy działanie, jeżeli w wyniku kolejnego ponownego procesu filtrowania liczba trójkątów opisujących pracę nie ulega zmianie lub po 10 iteracjach następuje zatrzymanie programu w celu weryfikacji.

Ostatnim elementem twórczego procesu jest druk 3D, czyli budowa obiektu warstwa po warstwie, który jest wykorzystywany od 1984 roku przez nakładanie proszku i utwardzanie go poprzez spieknięcie wiązką lasera, bądź przy pomocy żywic utwardzanych pod wpływem światła UV. Dopiero w ciągu ostatnich dziesięciu lat dostępność i koszt wydruku stały się atrakcyjne ze względu na zastosowanie materiału drukującego filamentu o niskiej temperaturze topnienia: około 200°C, który można wykorzystać w warunkach amatorskich.

17 G0 F1200 X123.399 Y122.552 Z0.30	facet normal 0 0 -1
18 G1 X126.274 Y123.529 E0.15149	outer loop
19 G1 X126.545 Y123.799 E0.17058	vertex 8.16817 3.77899 0
20 G1 X150.405 Y123.800 E1.36096	vertex 10 2.5 0
21 G1 X150.807 Y123.799 E1.38101	vertex 8.59912 2.5 0
22 G1 X173.452 Y123.800 E2.51078	endloop
	endfacet

11. G-code (z lewej) - znormalizowany język zapisu poleceń STL (z prawej) - plik tekstowy opisujący bryły 3D. Źródło: M. Noga
G-code (left) - a standardized language for writing STL commands (right) - a text file describing 3D solids. Source: M. Noga

Program przygotowujący do druku 3D, zamienia opis przestrzenny bryły (np. STL) na znormalizowany język zapisu poleceń G-code (il. 11), dokonując dokładnego przełożenia kształtu bryły na precyzyjnie obliczone ruchy głowicy [2], podającej materiał drukowany z odpowiednią prędkością w formie półpłynnej, który natychmiastowo zastyga, łącząc się z poprzednio wydrukowanymi elementami. Ten automatyczny proces obliczeniowy powstał w wyniku wieloletnich doświadczeń, z uwzględnieniem opóźnień, które powstają od momentu wydania komendy do czasu fizycznego wykonania tej funkcji oraz w wyniku samej specyfiki budowy bryły. Jednym z największych osiągnięć programistów jest możliwość budowy „mostu” bez podpory. Poprzez naciąganie lekkich, cienkich linii pomiędzy niestykającymi się brzegami sąsiednich brył, które zastygają, chłodzone przez powietrze z każdej strony, praktycznie tuż po wyjściu z głowicy drukującej (il. 12). A następnie algorytm wydaje komendy do budowania sklepienia krzyżowego tak, że już od trzeciej warstwy można kontynuować budowę bryły, mimo że nie jest ona podparta od dołu.

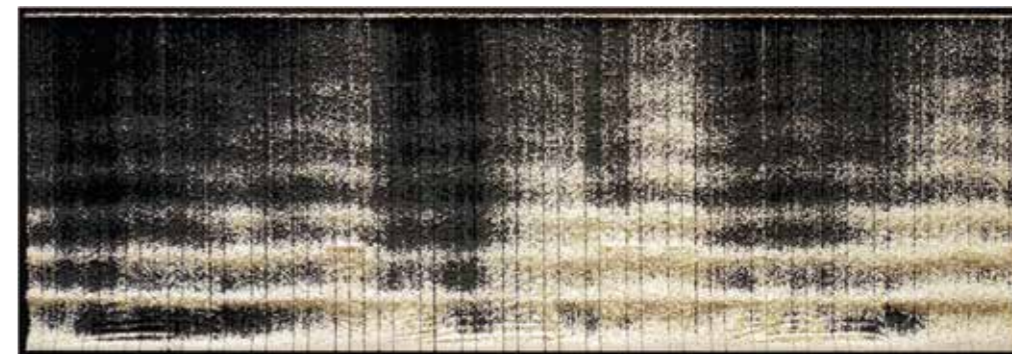


12. Przykład druku 3D, budowa mostu bez podparcia. Źródło: M. Noga
Example of 3D printing, unsupported bridge construction. Source: M. Noga

Relatywnie niski koszt eksploatacji oraz otwarte oprogramowanie daje możliwość dokonywania zmian temperatury i szybkości druku w celu uzyskania zamierzonego plastycznego efektu powierzchni. Na przykład druk szczegółowy, uwypuklający formę, czy też z wykorzystaniem wyższej temperatury, pozwalający na uzyskanie mocniejszego spójenia warstw z lekkim rozplynięciem nadmiarowej struktury. A nawet – celowo po wyłączeniu retrakcji – uzyskanie powierzchni wydruku pokrytej cienkimi nitkami filamentu, wydobywającego się z głowicy podczas przejazdu głowicy do kolejnego miejsca druku.

Zakończenie

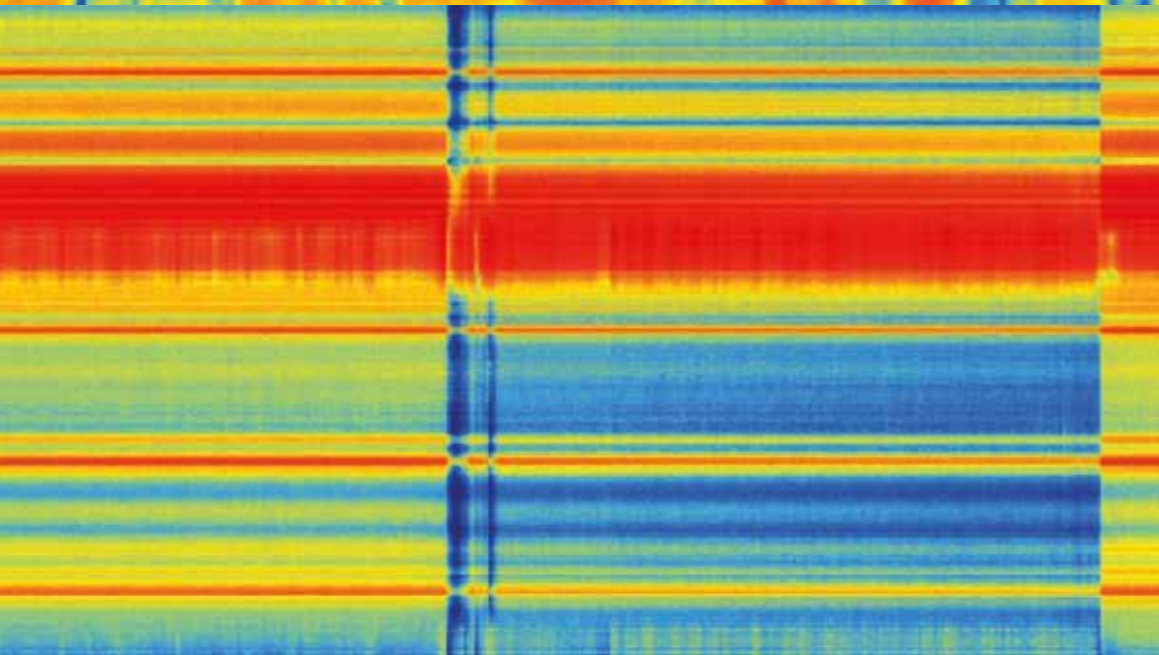
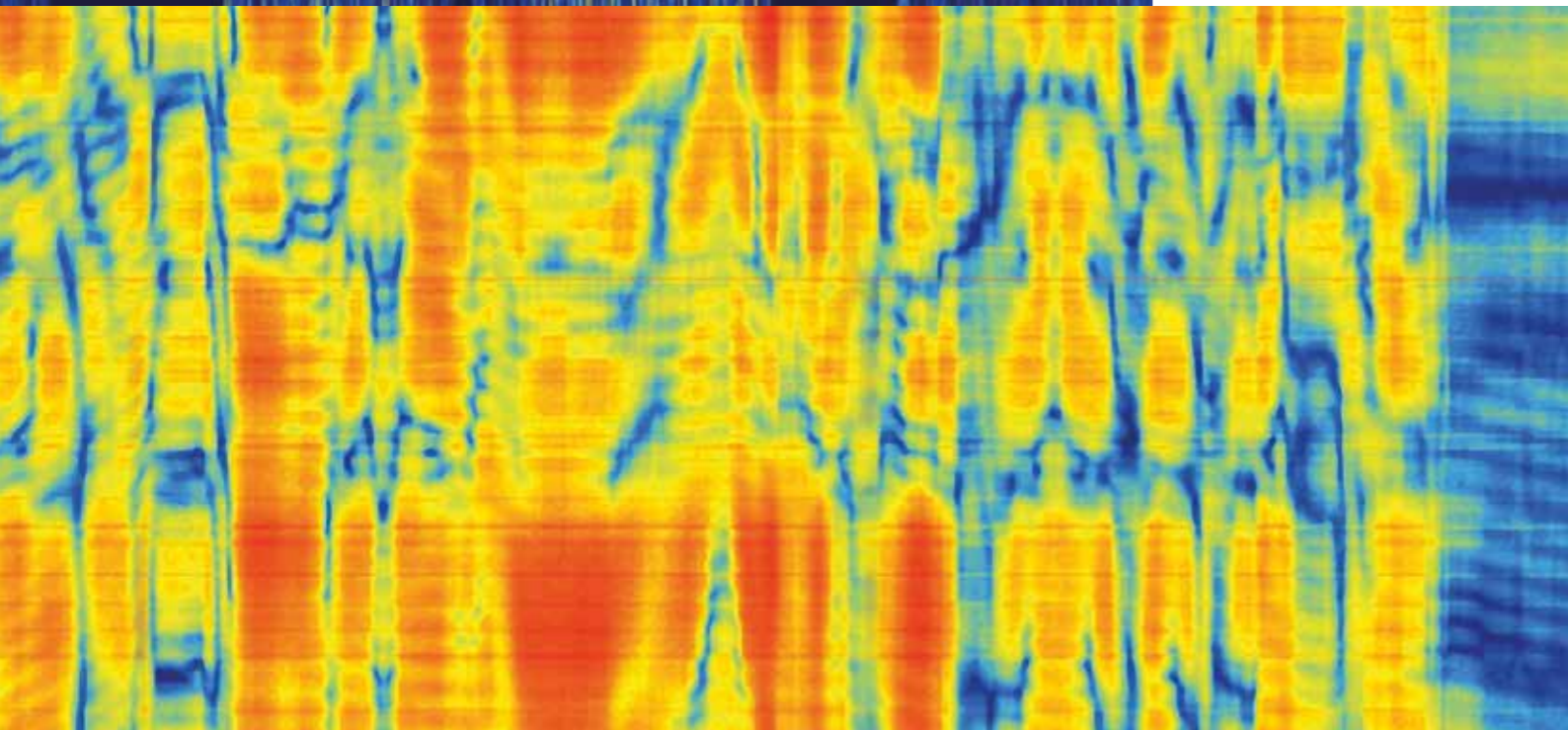
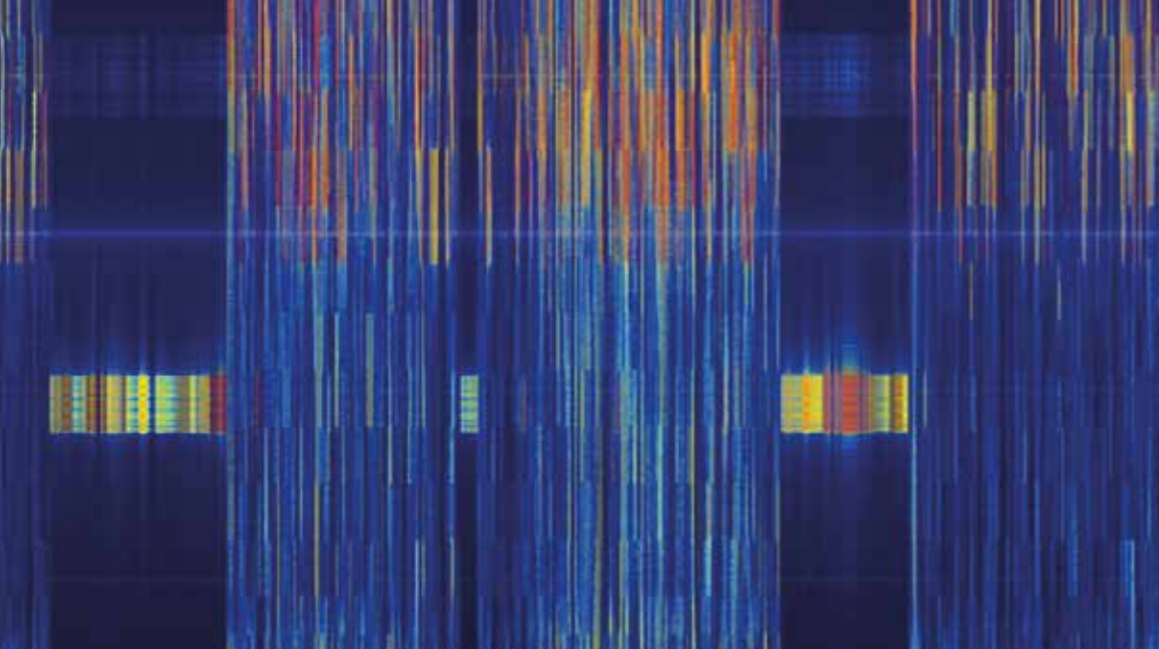
Przedstawiona twórczość składa się przede wszystkim z wielu elementów z dziedzin interdyscyplinarnych, gdyż proces twórczy zawiera w sobie również naukowe podejście do tematu, którym jest wykorzystanie matematyki, fizyki i informatyki w zbieraniu i przetwarzaniu danych cyfrowych, potrzebnych do wygenerowania obrazu, umożliwiającego wydruk 3D. Dlatego już rozpoczęte i dalej kontynuowane twórcze poszukiwania w dalszym ciągu oscylują wokół materii fali radiowej oraz poszukiwania systemowego sposobu ich prezentacji w pracach artystycznych. Wizualizacja fal dźwiękowych czy radiowych była zawsze bardziej wytworem wyobraźni, niż adekwatnym odwzorowaniem rzeczywistości. Obecnie – łącząc technologię, naukę i sztukę – możemy pokazać szeroki aspekt twórczości nieograniczonej żadną arbitralną barierą.



13. Ilustracja graficzna Schumann Wave 7.83 Hz, druk 3D, 87×29×2 cm. Źródło: M. Noga
Graphic illustration Schumann Wave 7.83 Hz, 3D print, 87×29×2 cm. Source: M. Noga

Genezą powstania tej pracy (il. 13) było bardziej ukazanie ulotności zjawiska, delikatnej w swej formie fali elektromagnetycznej, niż odzwierciedlenie przekazu zawartych w niej matematycznych danych. Ta praca, oprócz atrakcyjnej artystycznej formy, jest też technicznym dowodem potwierdzającym to, że ziemia jest kulą, a jej obwód wynosi: prędkość światła dzielona przez 7.83 [7]. Praca w swoim zakresie zawiera zapis rejestracji fal o bardzo niskiej częstotliwości na przestrzeni trzech dni (od lewej strony do prawej), a kolejne poziome grzbiety obrazują wzmocnienie fal [12, s. 25], rozchodzących się we wszystkich kierunkach, powstałych z kolejnych okrążeń impulsu fali wokół kuli ziemskiej. Ogół twórczości kierowany jest postrzeganiem świata jako przestrzeni, której choć nie widzimy w całym zakresie, to jednak jesteśmy świadomi, że oprócz możliwości dosłownego przedstawienia rzeczywistości, istnieje jeszcze szereg zjawisk odkrywanych przez naukowców, które nie przedstawiają się nam w sposób oczywisty i należy poszukiwać adekwatnych metod ich wizualizacji. W dzisiejszym świecie poszukiwanie nowych form przekazu jest wynikiem rozwoju nauki i techniki, które wymagają, tak od twórcy jak i od widza, otworzenia się na nowe uwarunkowania artystyczne, opisujące otaczającą nas wielowymiarową przestrzeń.

Wykraczanie poza medium papieru i ekran komputera jest konieczne współczesnemu twórcy multimedialnemu. Łączenie sztuki wizualnej z użytkową determinuje poszukiwanie nowych mediów wizualizacyjnych, jak i zmianę samego podejścia do dzieła artystycznego: co to jest, kto jest jego właścicielem i w jakim zakresie obejmują go prawa autorskie. W najbliższych latach środowiska artystyczne będą zmuszone zmierzyć się z tematem własności praw autorskich sztuki tworzonej z pomocą lub przy pomocy nowych technologii. Twórcą dzieła artystycznego jest wyłącznie osoba fizyczną, czyli człowiek. Przez dzieło artystyczne rozumie się wszystkie prace w całości wykonane przez artystę, niezależnie od zastosowanego przez niego procesu lub materiału [5]. Kupując dzieło sztuki, stajemy się właścicielem tylko, np. grafiki, lecz nie nabywamy praw autorskich do niej. Program komputerowy, używany przez artystę, jest tylko narzędziem pracy, ponieważ programiści czy producenci oprogramowań komputerowych sprzedają licencje lub udostępniają darmowo swoje produkty, które graficy wykorzystują w tworzeniu swoich prac artystycznych.



Jedne z pierwszych prac autorskich,
ilustrujących fale elektromagnetyczne.
Źródło: M. Noga
Some of the first author's work illustrating
electromagnetic waves. Source: M. Noga

The world is perceived by us humans as the resultant of stimuli that are received through our senses. It depends on the individual sensitivity of the perceiver whether the signals of sight, touch or taste that reach him will have a more or less intense effect on his perception of reality. Unfortunately, our senses are tuned only to receive the signals that are appropriate for them. The moment we want to look into areas inaccessible to us, we have to use the latest technological advances of our civilization. Nowadays, where the widespread access to digital media has generated in society the need to constantly keep track of selected multimedia content, we are faced with the phenomenon of electromagnetic smog, which, although invisible to the eyes, affects our health and well-being [1, p. 51]. As usual, there have been supporters as well as opponents of new technologies, but the speed of data transmission and the universally accessible way in which the world's society communicates have contributed to the proliferation of transmitting and receiving devices, which have a direct impact on the progress of civilization.

Keywords: programmable radio, radio wave, three-dimensional space

My artistic path to 3D printing of electromagnetic waves

Electromagnetic waves can vary in length - that is, the distance between successive "crests" - from which their frequency - that is, the measure of how many times a crest of a wave will pass through a given point in a fixed unit of time, usually 1 second. [1, p. 6].

— Marcin Noga

**Art Department, Kazimierz Pulaski University
of Technology and Humanities in Radom**

mnoga.ws@uthrad.pl

Introduction

For a long time, mankind has used various forms of signaling to transmit information. As early as 400 BC in Greece, attempts were made to communicate at a distance using a system of light signaling by reflecting the sun's rays through mirrors placed on signaling towers. In the territories of the Roman and Chinese Empires, smoke signs (today called an optical telegraph) were a popular method of communication. The rulers of those areas used the postal system by means of carrier pigeons, or messengers. Within Europe, an official postal system was established in France in 1464, and over the next 50 years it also extended to neighboring countries [12]. Another important development in the transmission of information is telecommunications, the transmission of message content. In the 19th century by means of a network of telegraph wires and since the early 20th century also wirelessly. In the era of the development of telecommunications, the telephone (from Greek: far - voice) was also developed for the transmission of sounds over a distance. Unlike the telegraph, which sent electrical impulses of various lengths that set in motion a stylus that recorded the contents of the message on paper tape. The pioneer of the implementation of the wireless telegraph was Guglielmo Marconi, who in 1901 sent a message from Europe to North America [8], which was three dots, or the letter S in the Morse alphabet [4], which is considered the forerunner of digital communication (fig. 1). Before electromagnetic waves were put to commercial use by transmitting sound wirelessly, they were used in maritime navigation and for military purposes by means of Morse code, a way of representing the alphabet and numbers in the form of just two symbols (popularly known as a dash and a dot). In 1920, the first regular radio broadcasts

began in the United States and an earlier long-range attempt included the transmission of music from a gramophone, which could be received 500 kilometers away, as the transmitter was located in Paris on the Eiffel Tower. In Poland, permanent radio broadcasts began in Warsaw, March 1926. [1, p. 33], and the first portable battery-powered receivers had already become popular by the late 1950s. As late as the late 1970s, 50.1% of radio listeners in the US were listening to FM stations [5]. Utilizing the new more noise-resistant FM (Frequency Modulation) (fig. 2) offering more faithful sound quality, ending its historical superiority over Amplitude Modulation (AM) [1, p. 37].

Work on the wireless phone began as early as the 1940s, and in 1956 the Swedish company Ericsson patented the first cell phone [6]. However, it wasn't until 1981 that the first mobile networks were launched in Sweden and Norway. Today's users and their smartphones are almost inseparable. This mobile device is a combination of a phone and a powerful miniature computer, which is used not only for entertainment, but also for work and study. For the most part, they are continuously connected to the wireless network via electromagnetic waves and use new advanced data transmission algorithms. This is made possible by the use of Quadrature Amplitude Modulation (QAM) with better spectral efficiency for transmitting digital data over a radio channel. It simultaneously combines two modulations: amplitude and phase (fig. 3).

Nowadays, with widespread access to transceivers, radio waves are a resource shared by many users. Radio transmitters located in the same area, trying to transmit simultaneously on the same frequency, will interfere with each other. In an analog system, the overlap of such waves results in a distorted reception, and in a digital system, the transmission speed decreases, where transmission is interrupted when certain parameters are exceeded. To achieve higher data rates, telecommunications system designers are using higher and higher frequencies and modulations (fig. 4.) with faster data transmission, which require a higher Signal to Noise Ratio (SNR).

The main current motive of creative activities is to show the invisible space and subjective interpretation of recorded radio waves. On the basis of twenty years of experience in following the development of mobile networks, the construction and principles of its operation and the emergence of almost every new transmitter. Through the sharing of information on Internet forums, a blog was created in 2009 at marcinnoga75.blogspot.com describing general technical issues and recording the course or result of experiments carried out. It is the basis for finding the difference and technological changes over the years. In addition, it can serve as a model of the procedure used in conducting experiments. In 2006, despite the possibility of using the Internet while roaming internationally with a cell phone, prices at the time were so prohibitive that the fact of sending three small photos was noted on the blog as a valid telecommunications test (fig. 5).

Registration of radio waves

The starting point was the search for devices as well as methods for automatic recording of technical parameters of radio networks. The next important step was to obtain a radio operator's license by passing the state exam at the Office of Electronic Communications. It allows receiving radio waves, but also transmitting with broadcasting equipment on amateur bands. This allowed both theoretically and practically to understand the issue of radio wave transmission. The following are software modifications to the DVB-T receiver for recording radio waves from a decade ago, created to archive the electromagnetic noise generated by cellular transmitters.

The mobile continuous wave recording platform, which makes it possible to record radio waves in detail while traveling, can work in two ways. By making real-time calculations and getting an immediate response, or by recording the entire data stream, any digital

data transformation can be done later. An important stage in the project was the remote access to a mobile station connected to the internet, which was transported almost the whole of Europe, collecting, among other things, information on wave propagation in different terrains, user activity at various times of day in different countries and in urban and rural areas, and programming the parameters (speed, range) of the recorded radio waves (Fig. 9).

Data roaming time is very limited, making most of the data not remotely visible. Some of the graphs intended only as an illustration for statistical data proved to be an attractive art form. This allowed further exploration of a method for transposing wave energy amplitudes into graphic images by giving an appropriately selected color scheme to the recorded readings. The multifaceted nature of the waveform adversely affects the reading of the content. Therefore, selective reduction proved necessary. In addition, the amount and detail of the collected data exceeds the real possibility of data presentation, but the classical reduction of graphics (detail averaging) introduces artifacts that disrupt the reading of the actual image. WiFi or LTE and 5G mobile wireless networks use Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM), which consists of simultaneously decomposing high bit-rate transmissions into several slower streams (fig. 8). The signal spectrum through such systems fills the radio channel completely.

The recorded results confirmed the accuracy of the assumption of mobile electromagnetic wave registration, but under different environmental conditions. Data collected from the same radio systems of neighboring European countries, where the same transmission system applies, should be similar. However, this is not the case. The density of the transmission grid, the load on the system by users, the individual configurations of local operators, the place and manner of mounting antennas, and the nature of buildings or terrain give the graphics an individual artistic expression created from the recorded waves. The next step was the search not only for new transmitters, but also for the intended registration of waves, in order to obtain artistic digital graphics, the source of which are radio waves collected during the movement of the recording station. Segregation consisted of selecting the subjectively most interesting fragments from the collected material and presenting them on large prints on photographic paper. The following graphics (fig. 9), by their luminosity, were very close to the images viewed on a monitor screen. However, after some time, the method of presentation proved insufficient to adequately depict radio waves invisible to the human eye.

Project implementation

In order to find a method of presenting this phenomenon in a way that is accessible to the public, specially designed algorithms for the selection and transformation of data, used during the study of electromagnetic waves, were used. Taking into account the technological development in the field of devices, especially printers and construction materials, the material turned out to be the most suitable form of representation of the content contained in a specific wave phenomenon. Using the available means in a manner adequate to the set goals, the structures that build the graphics were shaped. The next stage was the use of multiple layers of film separated by transparent sheets of Plexiglas, which were applied to the drawings with delicate incisions. This made it possible to build a layered spatial graphic. The inspiration for this project came from the principle of operation and images from a CT scanner. The lower layers of the image contained information about the low strength of the radio wave, while the upper layers closer to the viewer imaged a stronger signal. The result was a series of works aimed at conveying the depth of the ether of propagating waves, presented in an individual exhibition. In order to bring the issue closer to the viewer, the electromagnetic waves were transposed into the author's paintings constructed so that viewers could immerse themselves in a space that was elusive to them.

The efforts that have begun are aimed at creating an optimal algorithm that will allow the best possible representation of the complex nature of the phenomenon. Unfortunately, the form of the image transfer largely depends on the visualization technology, so the appropriate choice of the technology will best reflect the obtained results of data analysis. Following the development of science in independent fields and taking advantage of their achievements, made it possible to modernize the author's algorithms depicting the results of ongoing research. Experimenting with materials that construct graphics, properly selecting the parameters of the print, allowed to obtain the most satisfactory visual effects. The presentation of their own research, in the form of artwork, initiated a series of two-dimensional and later three-dimensional graphics, showing algorithmically generated space mapped using a 3D printer. This method gives a greater spectrum of creative creation. It allows compositional activities not only by combining colors, but by the possibility of obtaining a complex surface texture of prints. Monolithic representations of the ephemeral wave phenomenon have become an expression of artistic exploration. The second aspect in the creative process is the very process of preparing 3D data for printing or 3D processing. In the case of the creation of artwork that serves as spatial matrices, it is necessary not only to analyze the angles between the walls, but also the shape of the mold taking into account the size of the tool and the possibilities of processing or the parameters of the material from which the visualization or matrix will be made (fig. 10) to make, among other things, a gypsum or ceramic casting. The first die made contained small cavities into which the clay had penetrated, and this made it impossible to remove the print from the die.

In another trial, a larger diameter ball cutter was used as a natural spatial filter of the surface. These experiments became the reason for the search for an algorithm to divide the structure into layers: content in terms of assessing the importance of the structure and structural layers only of the solid. In addition, when preparing a digital matrix, an important issue in the computational process is the analysis of the sidewalls of the solid and the analysis of surface porosity. For this purpose, the tools of the MeshLab program were used, with the help of which only those vectors that do not meet the established criteria were filtered. As a result of removing elements or changing the directions of undesirable vectors, holes of the spatial mesh can be created, which are repaired at the next stage using the Close Holes function. The program terminates if the number of triangles describing the work does not change as a result of the next re-filtering process, or the program is stopped for verification after 10 iterations.

The final part of the creative process is 3D printing, the construction of an object layer by layer, which has been used since 1984 by applying powder and curing it by sintering it with a laser beam, or with resins cured under UV light. It is only in the last ten years that the availability and cost of printing has become attractive due to the use of a low-melting point filament printing material of about 200 °C, which can be used in amateur settings.

The program that prepares for 3D printing, converts the spatial description of the solid (e.g., STL) into the standardized command writing language G-code (Fig. 11) making an accurate translation of the shape of the solid into precisely calculated movements of the head [2] feeding the material printed at the appropriate speed in semi-liquid form, which immediately solidifies merging with the previously printed elements. This automatic computational process was developed through years of experience, taking into account the delays that arise from the time a command is issued to the time this function is physically executed, and the very nature of solid construction. One of the developers' greatest achievements is the ability to build a "bridge" without a support. By stretching light, thin lines between the non-contacting edges of adjacent solids, which freeze cooled by air on each side virtually

as soon as they exit the print head (fig. 12). And then the algorithm issues commands to build the cross vault, so that from the third layer onward you can continue building the solid even though it is unsupported from below.

The relatively low cost of operation and open source software gives the ability to make changes in temperature and printing speed to achieve the intended plastic surface effect. E.g., detail printing to emphasize the form, or using a higher temperature to achieve a stronger bonding of layers with a slight dissolving of the excess structure. Or even intentionally, when retraction is turned off, achieving a print surface covered with thin threads of filament coming out of the head as the head passes to the next print location.

Conclusion

The work presented consists primarily of many elements from interdisciplinary fields, as the creative process also includes a scientific approach to the subject, which is the use of mathematics, physics and computer science in the collection and processing of digital data needed to generate an image that makes 3D printing possible. Therefore, the creative exploration, which has already begun and continues, continues to oscillate around the matter of radio waves and the search for a systematic way to present them in artistic works.

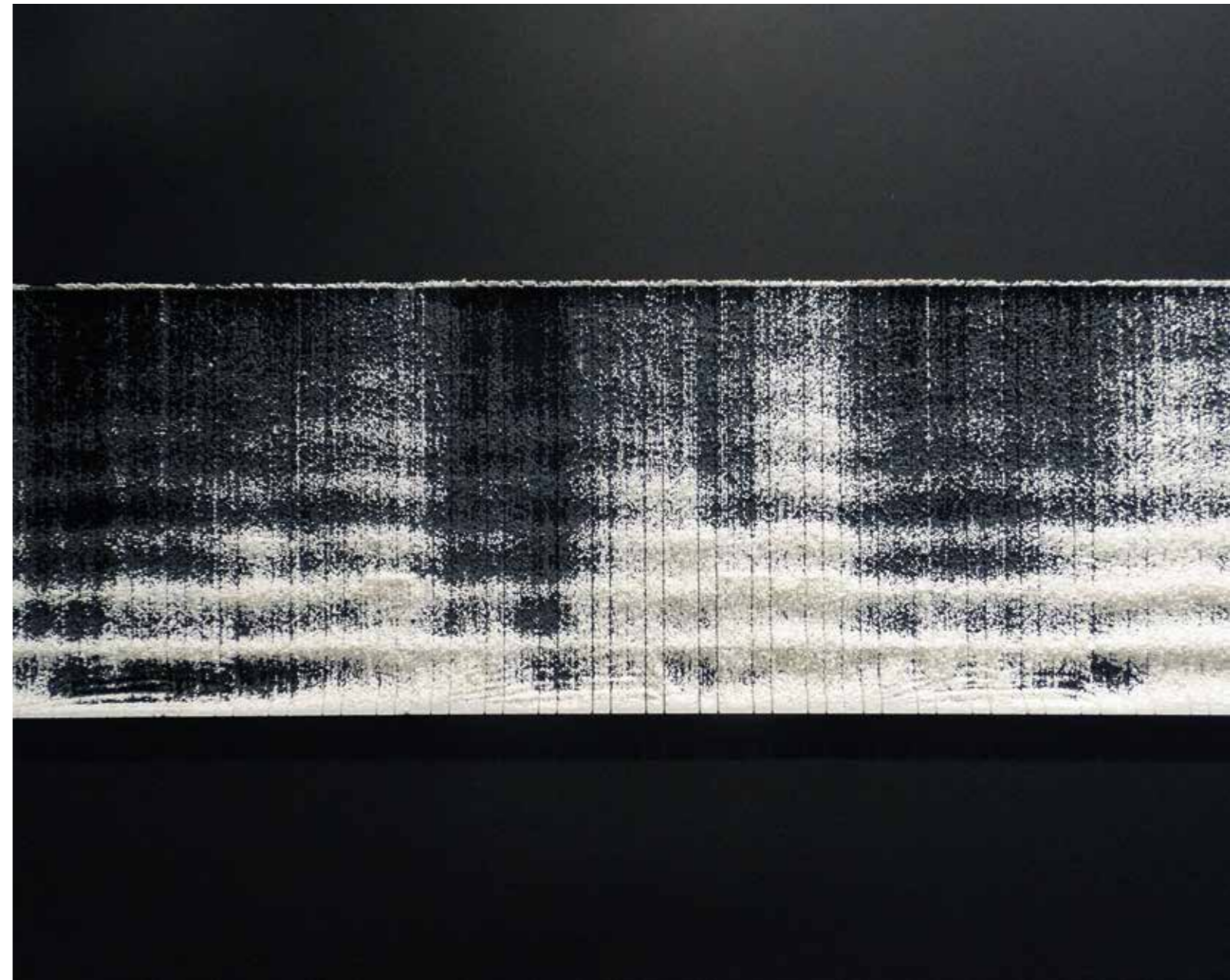
The visualization of sound or radio waves has always been more a product of the imagination than an adequate representation of reality. Today, by combining technology, science and art, we can show a broad aspect of creativity unrestricted by any arbitrary barrier.

Although the genesis for the creation of this work (fig. 13) was more to show the transience of the phenomenon, a delicate electromagnetic wave in its form, than to reflect the transmission of the mathematical data contained in it. This work, in addition to its attractive artistic form, is also technical proof that the earth is a sphere and its circumference is: the speed of light divided by 7.83 [7]. The work in its scope contains a record of the registration of very low-frequency waves over a period of three days (from left to right), and successive horizontal ridges illustrate the amplification of waves [12, p. 25] (propagating in all directions) formed from successive laps of the wave pulse around the globe. The totality of creativity is guided by the perception of the world as a space, which, although we do not see in its entirety, we are aware that in addition to the possibility of a literal representation of reality, there are still a number of phenomena discovered by scientists that do not present themselves to us in an obvious way, and adequate methods of visualizing them must be sought. In today's world, the search for new forms of communication is a result of the development of science and technology, which require, both the creator and the viewer, to be open to new artistic currents that describe the multidimensional space around us.

Going beyond the medium of paper and computer screen is necessary for the modern multimedia artist. Combining visual and applied art determines the search for new visualization media, as well as a change in the very approach to the aspect: what is an artistic work, who owns it and to what extent it is covered by copyright. In the coming years, art circles will be forced to confront the topic of copyright ownership of art created with the help or through new technologies. The creator of an artistic work is exclusively an individual, i.e. a human being. An artistic work is understood as all works "made entirely by the artist, regardless of the process or material used by him" [5]. When we buy a work of art, we only become the owner of, for example, a graphic design, but we do not acquire the copyright to it. The computer program used by the artist is only a working tool, as programmers or computer software manufacturers sell licenses or provide free access to their products, which graphic designers use in creating their artwork.

BIBLIOGRAFIA BIBLIOGRAPHY

- [1] Biała Księga - *Pole elektromagnetyczne a człowiek*, Ed. Ł. Lamża, Warszawa: Instytut Łączności - Państwowy Instytut Badawczy 2019, <https://www.gov.pl/web/5g/biala-ksiega1> (data dostępu/access: 04.06.2022).
- [2] Carolo L., *3D PRINTER G-CODE COMMANDS: LIST & TUTORIAL*, <https://all3dp.com/2/3d-printer-g-code-commands-list-tutorial/>, All3DP (data dostępu/access: 04.06.2022).
- [3] *FM broadcasting in the United States*, https://en.wikipedia.org/wiki/FM_broadcasting_in_the_United_States (data dostępu/access: 04.06.2022).
- [4] Guglielmo Marconi - *Biographical*, NobelPrize.org. Nobel Prize Outreach AB 2022, <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1909/marconi/biographical> (access:04.06.2022).
- [5] Lista Pojęć - *Dzieła sztuki*, red. M. Kolczyk, Warszawa: Główny Urząd Statystyczny 2021, <https://stat.gov.pl/metainformacje/slownik-pojec/pojecia-stosowane-w-statystyce-publicznej/3846.pojecie.html> (data dostępu/access: 04.06.2022).
- [6] *Mobile phones - from luggables to pocket phones*, <https://www.ericsson.com/en/about-us/history/products/mobile-telephony/mobile-phones--from-luggables-to-pocket-phones> (data dostępu/access: 04.06.2022).
- [7] NASA, *Schumann Resonance*, https://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/news/gallery/schumann-resonance.html (data dostępu/access: 04.06.2022).
- [8] Noga M., *Pozdrowienia z przeszłości?*, <https://marcinnoga75.blogspot.com/2018/10/pozdrowienia-z-przeslosci.html> (data dostępu/access: 04.06.2022).
- [9] Noga M., *Wspomnienia mojego Roamingu*, <https://marcinnoga75.blogspot.com/2013/07/wspomnienia-mojego-roamingu.html> (data dostępu/access: 04.06.2022).
- [10] Noga M., *2 w 1 = Radom NetWorkS! PL34*, <https://marcinnoga75.blogspot.com/2013/08/2-w-1-radom-networks-pl34.html> (data dostępu/access: 04.06.2022).
- [11] Noga M., *3G SDR Raspberry PI - wyruszyło w Europę (dzień pierwszy Hannover)*, <https://marcinnoga75.blogspot.com/2014/09/3g-sdr-raspberry-pi-wyruszyo-w-europe.html> (data dostępu/access: 04.06.2022).
- [12] Targaszewska M., Zajac P., *Technologie przekazywania informacji na odległość*, 2012, http://kwasnicki.prawo.uni.wroc.pl/pliki/Targaszewska_Zajac_Informacje_na_odlegsc.pdf (data dostępu/access: 04.06.2022).



Ilustracja graficzna Schumann Wave 7.83 Hz, druk 3D, 87×29×2 cm. Źródło: M. Noga
Graphic illustration Schumann Wave 7.83 Hz, 3D print, 87x29x2 cm. Source: M. Noga



1a. Surowa glina z plaży Manias, wyspa Kefalonia, Grecja
Raw clay from Manias Beach, Kefalonia Island, Greece



1b. Surowa glina, gotowa do użytku
Raw Clay, ready for use

Niniejsza praca opisuje obecność druku 3D w produkcji płytek jako ceramicznych komponentów architektonicznych, ze szczególnym uwzględnieniem zrównoważonego rozwoju budownictwa. Nowoczesne technologie - związane z drukiem 3D, z wykorzystaniem kilku materiałów - zaczęły być włączane w proces prototypowania, fabrykacji i metod wytwarzania w bardziej zaawansowanych ujęciach. Biorąc pod uwagę, że Ziemia jest już w alarmującym stanie, bliskim wyczerpania zasobów, zrównoważony rozwój i poszanowanie środowiska powinny być brane pod uwagę w procesie projektowania. Wysoce pożądane jest skupienie się na zrównoważonym rozwoju, minimalizującym ślad węglowy, masowe odpady produkcyjne i bardziej ekologiczne rozwiązania, poprawiające wydajność konstrukcji i funkcjonalność budynku. Ceramika wytwarzana w technologii druku 3D zawiera dwie pozytywne wartości, druk 3D z zastosowaniem ekstrudera pasty jako innowacyjny proces oraz tradycyjny materiał ceramiczny, który z historycznego punktu widzenia oznacza, że ludzie używali gliny, która później była wypalana w celu produkcji funkcjonalnych obiektów. Podczas realizacji tego działania, zaprojektowałam i wydrukowałam makiety z Polywoodu i filamentu PLA, formy gipsowe, drukowane trójwymiarowe prototypy z filamentu PLA i masy ceramicznej. Starając się osiągnąć precyzyjną, zrównoważoną i szybką produkcję ceramicznych płytek dekoracyjnych jako pojawiających się komponentów architektonicznych, które rozwiązują problemy ekologiczne, a jednocześnie reprezentują estetykę przyszłej zrównoważonej produkcji. Dodatkowo, użyłam surowej gliny, którą sama zebrałam, aby wspierać ideę wykorzystania lokalnych materiałów w architekturze, unikając zanieczyszczenia dwutlenkiem węgla, wynikającego z nieustannego masowego transportu międzynarodowego w celach handlowych. Nawiązując do przywrócenia naturalnego systemu ekologicznego, użyłam nisko wypalanej gliny terakotowej i zwróciłam szczególną uwagę na cechy materiału ceramicznego, takie jak długa żywotność produktu, utrzymanie wilgotności, brak szkodliwości dla środowiska i jego dostępność jako powszechnego zasobu naturalnego. Technologia druku 3D w projektowaniu i produkcji ceramiki niesie ze sobą szansę na wytworzenie funkcjonalnych jednostek architektonicznych, które uzyskują wysoką trwałość, złożoność strukturalną oraz pozwala uniknąć problemów produkcyjnych w porównaniu do procesów analogowych, ogranicza do minimum ilość odpadów i jest mniej czasochłonna.

Słowa kluczowe: druk 3D, PLA, zrównoważony rozwój, powstające obiekty, płytki ceramiczne, architektura

Badania nad ceramicznymi elementami architektonicznymi jako pojawiającymi się obiektami w zrównoważonym projektowaniu i odbudowie ekosystemów

— Fania Kolaiti

Szkoła doktorska, Akademia Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu

fkolaiti1@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-8982-6196>

Fossil Tiles, seria płytek ceramicznych z połączeniem tradycyjnych analogowych metod produkcji i technik druku 3D

Inspiracja lokalną architekturą i krajobrazem

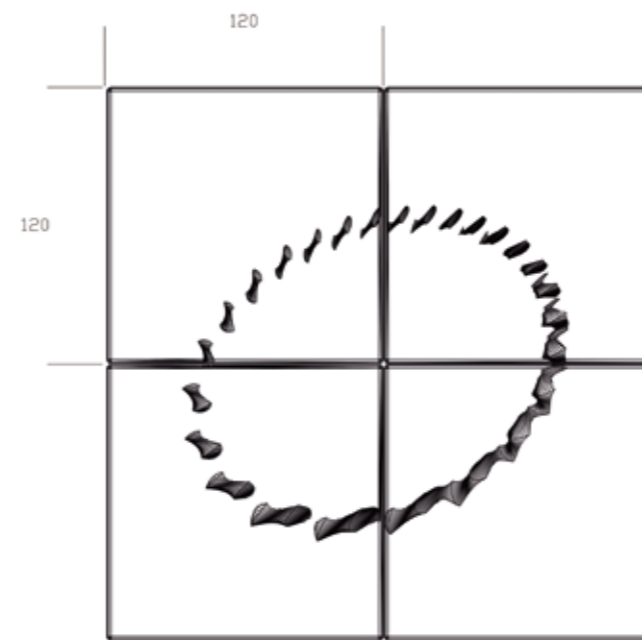
Projekt *Fossil Tiles* składa się z dwóch kwartetów płytek ceramicznych, powstałych z połączenia tradycyjnych technik ręcznie robionych płytek ceramicznych i technologii druku 3D w celu stworzenia złożonego geometrycznego wzoru, który został

zrealizowany w glinie i wykorzystany do dekoracji serii płytek jako pozytywowo i negatywowo relief w odwrotnym przypadku. Do realizacji projektu wybrano surową glinę, która została zebrana z terenów nadmorskich. Płytki ceramiczne nadają się do dekoracji ścian lub podłóg zarówno w przestrzeniach wewnętrznych, jak i zewnętrznych. Projekt *Fossil Tiles* nadaje się do dekoracji ścian, ponieważ jest to wysoki relief, który nie powinien być naruszony. Koncepcja płytek *Fossil Tiles* jest inspirowana krajobrazem miejsca (plaża Xi, Kefalonia, Grecja), w którym zebrano surową glinę, a jasny brązowo-żółty odcień ochry wypalanej gliny odpowiada lokalnym cechom architektonicznym kolorystyki ścian wyspy Kefalonia w Grecji. Historycznie, barwa ochry na ścianach pochodzi z tradycyjnego Marmorino Veneziano, jest to rodzaj tynku złożonego z tlenku wapnia, stosowanego do dekoracji ścian wewnętrznych i zewnętrznych [6]. Wyspa Kefalonia (wraz z resztą Wysp Jońskich) była kolonizowana przez Republikę Wenecką od 1500 do 1797 roku, a jej architektura była silnie związana z wenecką architekturą gotycką. Katastrofalne trzęsienie ziemi w 1953 roku zniszczyło większość budynków na wyspie, niewiele z nich zostało odrestaurowanych, odbudowanych według oryginalnych archetypów. Historyczna architektura wyspy przeżywa kryzys ze względu na minimalne wsparcie ze strony państwa i brak inwestycji związanych z renowacją architektury. Surowa glina jest jednym z reprezentatywnych materiałów obszaru, czyli gminy Paliki, a jej popielaty, zielony kolor sprawia, że jest ona rozpoznawalna w różnych częściach rejonu. Po wypaleniu pierwszej próbki gliny efekt był zaskakująco udany. Podczas badań w okolicy zauważono, że w lokalnej kulturze brakuje sztuki ceramiki, a wiedza o funkcjonalnym wzornictwie ceramiki wydaje się być zapomniana przez mieszkańców. Mimo że ceramiczne dachówki są kolejną obowiązkową cechą lokalnej architektury w celu naśladowania weneckiego, a później neoklasycznego typu architektury, nie ma tradycji wytwarzania dachówek, która przetrwałaby przez lata, a elementy ceramiczne dachu są głównie importowane. Zielona glina z Paliki może być doskonałym materiałem w celu zrównoważonych rozwiązań w projektowaniu ceramiki do użytku architektonicznego. Jest wyrazem oryginalności i dziedzictwa kulturowego. Jako produkt lokalny, glina mogłaby być wykorzystana w szeregu projektów ceramicznych do dekoracji ścian wewnętrznych, bram i ozdób podwórkowych lub mebli ogrodowych. Wizualizacja przyszłości projektowania z zasadami zrównoważonego rozwoju przybliżyła nas do możliwej hipotetycznej zmiany [1, s. 8-189].

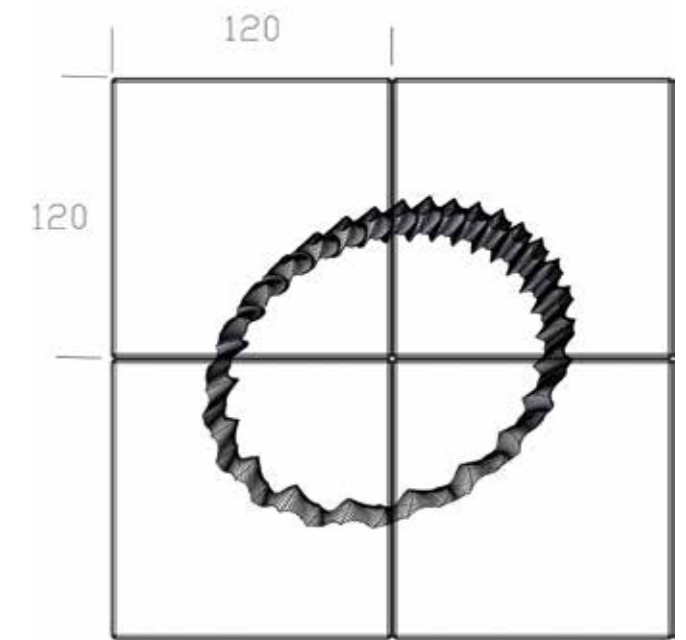
W celu nadania rangi lokalnej architekturze poprzez zastosowanie elementów ceramicznych, postanowiłam zaprojektować serię płytek *Fossil*, które uzyskują wyrafinowany ozdobny węzeł pierścieniowy, inspirowany rzeźbą krajobrazu surowych glinianych klifów i wzgórz wsi Paliki.

Zaprojektowanie Fossil Tiles

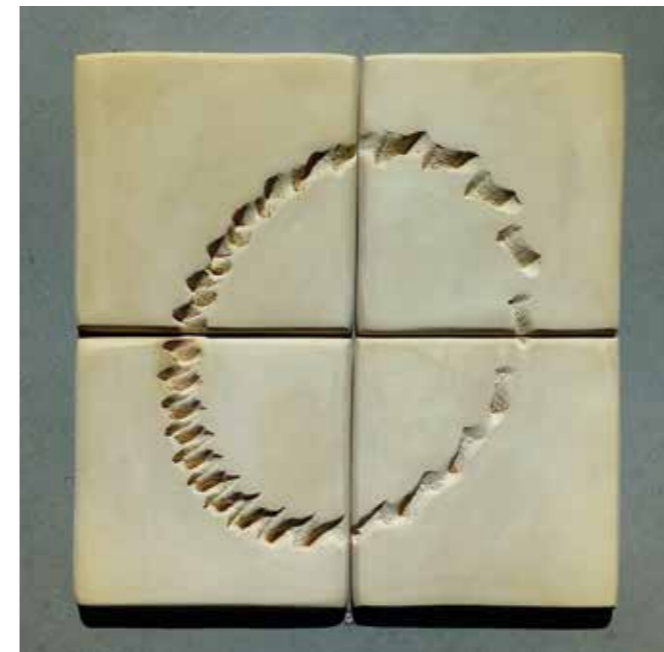
Idea realizacji projektu *Fossil Tiles* została zainspirowana naturalnym krajobrazem miejsca Paliki na wyspie Kefalonia w Grecji. Bogactwo występowania gliny w środowisku naturalnym jest oczywistą cechą charakterystyczną i pojawia się ona w postaci całych wzgórz na lądzie i dociera do zachodnio-południowych obszarów przybrzeżnych wyspy. Mała próbka gliny została zebrana w celu zaprezentowania tego, jak materiał ceramiczny odnosi się do zrównoważonego rozwoju w architekturze i projektowaniu wnętrz, podczas gdy możliwe jest połączenie druku 3D w procesie projektowania z poszanowaniem wartości recyklingu i redukcji. Co ciekawe, pomimo dużych ilości materiału w środowisku naturalnym Paliki, lokalne społeczności nie są związane z projektowaniem i produkcją ceramiki. Co prawda, architektura mieszkalna wyspy zawiera dachówki ceramiczne i jest to obowiązek wynikający z tradycji, ale na wyspie brakuje inicjatyw, które mogłyby promować miejscową glinę jako zrównoważone rozwiązanie dla lokalnego budownictwa. Płytki ceramiczne, używane do dekoracji wnętrz, są z reguły importowane, a masowy handel podstawowymi płytkami ceramicznymi stanowi najczęstszy wkład w dekorację budynków. Masowy transport ceramiki produkowanej za granicą wiąże się z emisją dwutlenku węgla,



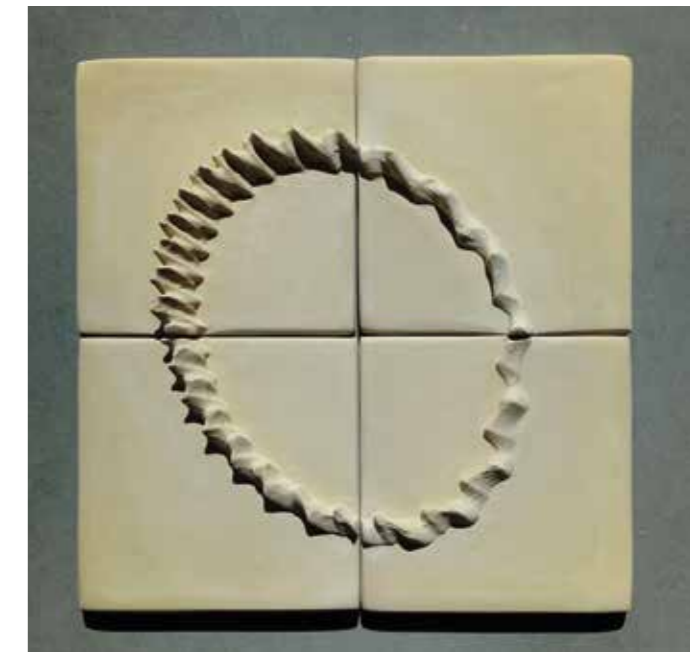
2. Rysunek techniczny, widok z góry, płytki kopalne z reliefem negatywowym
Źródło: F. Kolaiti
Technical drawing, Top View, Fossil Tiles with negative relief. Source: F. Kolaiti



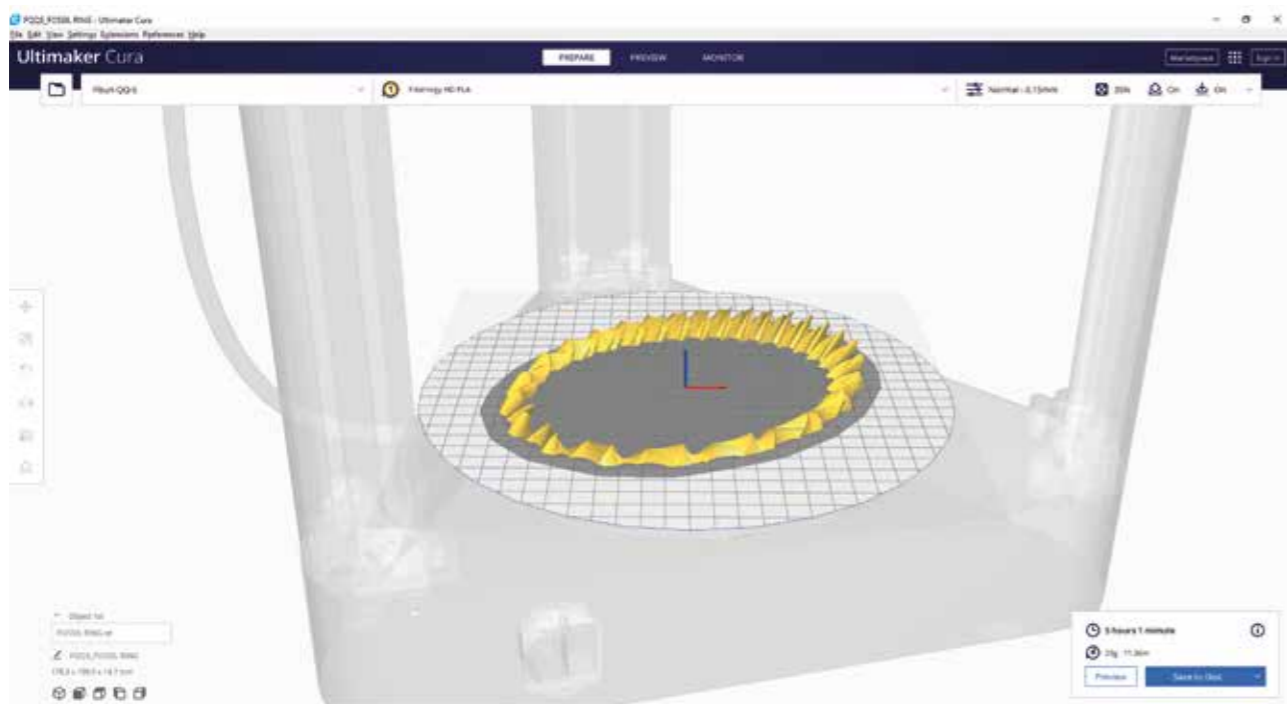
3. Rysunek techniczny, widok z góry, płytki kopalne z pozytywowym reliefem
Źródło: F. Kolaiti
Technical drawing, Top View, Fossil Tiles with positive relief. Source: F. Kolaiti



6. Fania Kolaiti, płytki kopalne z reliefem negatywowym, ceramika. Zdjęcie: F. Kolaiti
Fania Kolaiti, Fossil Tiles with negative relief, ceramic. Photo by F. Kolaiti



7. Fania Kolaiti, płytki kopalne z pozytywowym reliefem, ceramika. Zdjęcie: F. Kolaiti
Fania Kolaiti, Fossil Tiles with positive relief, ceramic. Photo by F. Kolaiti



4. Krojenie pierścienia ze skamielin. Źródło: F. Kolaiti.
Slicing the Fossil Ring. Source: F. Kolaiti.



5. Pierścień ze skamieliny, drukowany 3D, PLA. Źródło: F. Kolaiti.
Fossil Ring, 3D printed, PLA. Source: F. Kolaiti.

nie jest to więc zrównoważone rozwiązanie ekologicznego projektu budownictwa mieszkalnego. Wykorzystanie lokalnej gliny do wybranych projektów dekoracyjnych może zainspirować ideę skupienia się na wykorzystaniu lokalnych materiałów w celu projektowania z wykorzystaniem wartości zrównoważonego rozwoju w zakresie zmniejszenia śladu węglowego. Pozyskana surowa glina okazuje się być doskonałym materiałem do realizacji zrównoważonego projektu płytek ceramicznych do dekoracji ścian wewnętrznych i zewnętrznych domu.

Fossil Tiles składają się z dwóch zestawów kwartetów płytek ceramicznych o wymiarach 12×12 cm. Powstały one dzięki połączeniu tradycyjnych, analogowych technik ręcznego wykonywania płytek ceramicznych oraz aplikacji druku 3D do wykonania prototypu dekoracji reliefowej, która została naniesiona na płytki. W dwóch wersjach kwartałów uzyskano relief pozytywny oraz relief negatywny jako zdobienie [7]. Użycie programu do modelowania 3D było niezbędne do zaprojektowania złożonej geometrii eliptycznego pierścienia węzłowego. Pierścień został zmodyfikowany przy pomocy efektów, skręcających kształt, a następnie został przecięty wzdłuż osi x i y. Później kształt wyeksportowano do pliku STL w celu przystąpienia do druku 3D. Wybrano technologię druku 3D, aby osiągnąć precyzję zaprojektowanego kształtu, która byłaby prawie niemożliwa do osiągnięcia przy użyciu prymitywnej techniki modelowania. Zaletą technologii druku 3D jest uniknięcie czasochłonnego, ręcznie wykonywanego, skomplikowanego projektu oraz zapewnienie precyzji wymiarowej.

W celu wydrukowania pliku, użyto filamentu PLA, który jest powszechnym i relatywnie tanim materiałem w porównaniu do innych tworzyw termoplastycznych. Kwas polimlekowy (PLA) jest popularny w biurowym druku 3D. Jest on domyślnym filamentem dla większości drukarek 3D stosujących mechanizm wytłaczania filamentu, ponieważ może być drukowany w niskiej temperaturze i nie wymaga podgrzewanego stołu roboczego. PLA jest filamentem w 100% nadającym się do recyklingu. Niewykorzystane części, które mogą powstać w procesie drukowania, są zbierane i topione. Stopiony PLA jest przetwarzany na nowe szpule przy pomocy maszyny do recyklingu filamentów do drukarek 3D. W rezultacie, proces powstawania projektu uwzględnia materiały nadające się do recyklingu, które zmniejszają do minimum czas, pozbywanie się błędów projektowych i toksyczność innych polimerów, które są powszechnie stosowane w procesie projektowania masowej produkcji. Nadszedł czas, aby przemyśleć proces wytwarzania produktów przemysłowych, a przemysł ciężki musi zrewidować oceny środowiskowe, uznając za konieczny świadomy plan produkcyjny i inżynierski, skoncentrowany na zrównoważonych rozwiązaniach [9].

Udział druku 3D w procesie projektowania

Nowoczesna technologia druku 3D oferuje szeroki zakres rozwiązań w procesie projektowania w sposób znacznie bardziej zaawansowany w porównaniu do metod tradycyjnych. W przypadku tworzenia reliefu dla płytki ceramicznej, jak na przykładzie płytek *Fossil*, technologia druku 3D stworzyła możliwość wydrukowania skomplikowanego kształtu obliczeniowego z precyzją, w krótkim czasie, w porównaniu do projektu wykonanego ręcznie.

Szacunkowy czas wydruku kształtu okręgu wynosił trzy godziny, podczas gdy wersja wykonana ręcznie z gliny zajęłaby wiele godzin pracy. Poza tym, skomplikowane geometrie i proporcje stwarzałyby ograniczenia podczas wykonywania prototypu, podczas gdy drukarka 3D sprawnie realizuje polecenie wydruku. Gotowy do druku projekt jest plikiem wirtualnym i nie wymaga fizycznej przestrzeni do przechowywania. Co więcej, projekt może być wydrukowany zawsze, gdy jest potrzebny, przy bardzo niskich kosztach procesu, bez potrzeby inwestowania w narzędzia i wiele uprzemysłowionych materiałów.

Materiały plastikowe są najpowszechniej stosowane w druku 3D, ponieważ są lekkie i tanie. Polimery z tworzyw sztucznych mają również tę zaletę, że można je poddawać recyklingowi i kształtować w filamencie do ponownego wykorzystania. Jest to

obiecujący pomysł, który stanowi inspirację do ponownego wykorzystania zmarnowanego materiału z procesu produkcyjnego, a także motywuje do przekształcenia zużytych polimerów termoplastycznych, które zanieczyszczają środowisko, w filenty dla technologii druku 3D.

Produkcja projektów do druku wymaga jedynie materiału potrzebnego do wykonania wydruku z niewielkim lub żadnym marnotrawieniem w porównaniu do metod oldschoolowych, które wymagają kombinacji technik i materiałów wielokrotnego użytku oraz maszyn. W rezultacie, proces druku 3D minimalizuje koszty produkcji, koszty materiału i wysiłek związany z codzienną pracą na zmiany. Drukarki 3D mogą być ustawione i pozostawione do pracy bez pomocy, co oznacza, że nie ma potrzeby, aby operatorzy byli obecni przez cały czas. Jeśli drukarka jest zbyt droga, projekt może być wydrukowany w firmie zajmującej się drukiem 3D.

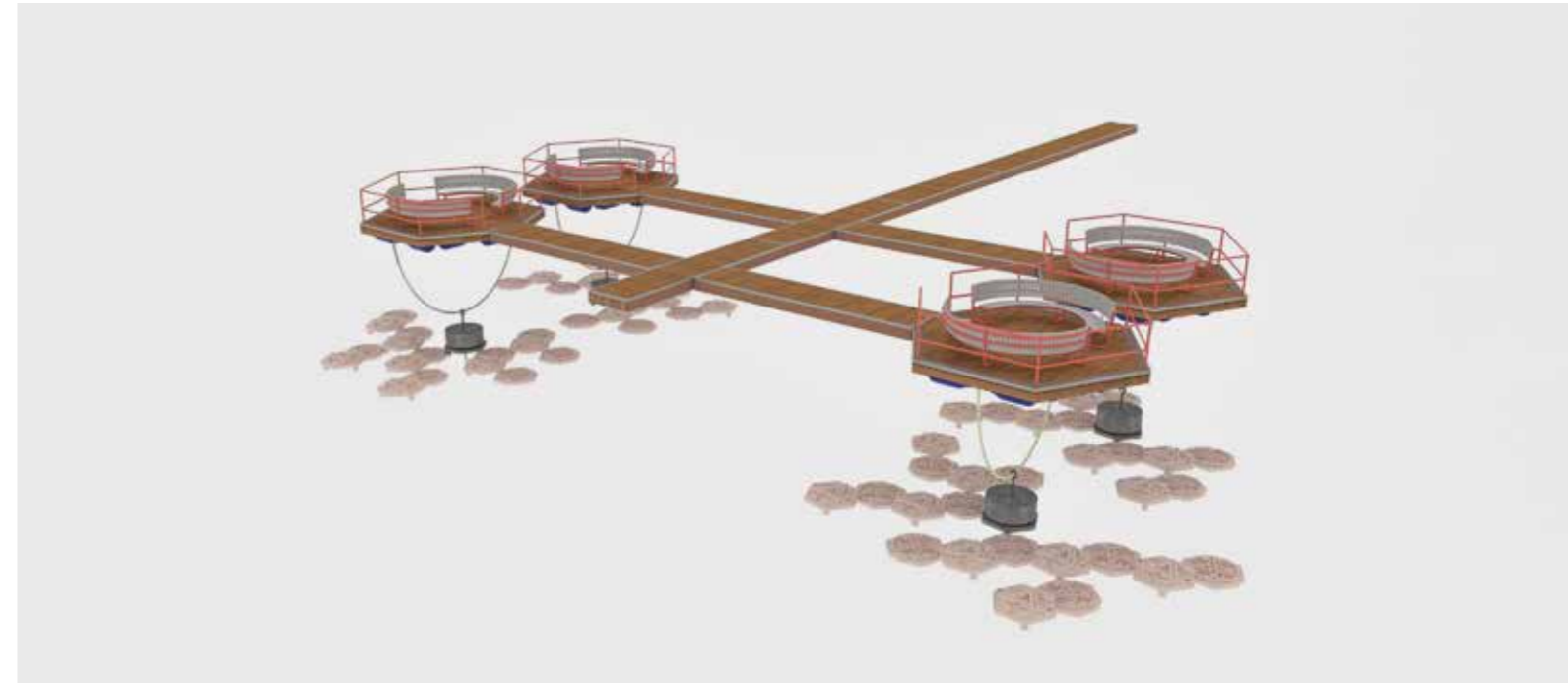
W przypadku pierścieniowego torusa, który został wykorzystany w projekcie *Fossil Tiles*, geometria jego kształtu odnosi się do topologii – dziedziny matematycznej. Węzeł matematyczny ma połączone końce, dzięki czemu nie ulega rozplątaniu. Zgodnie z teorią węzłów matematycznych nazywa się go torusem bezwęzłowym. Torus składa się z 53 odcinków, a jego Q i R są równe 1. Jest skręcony trzynaście razy i ma mimośród 0,75. W dążeniu do uzyskania wyniku, zapewniającego obecność metryki jak najwierniejszej cechom matematycznym, technika druku 3D jest jak najbardziej odpowiednia. Druk 3D jest łatwym sposobem na uniknięcie uproszczonych i nierównoważonych wyników, które nie osiągną imponującej precyzji elementów drukowanych cyfrowo. Proces projektowania prototypów jest szybszy niż kiedykolwiek i zwykle odbywa się przy użyciu jednego materiału i jednego narzędzia – drukarki 3D.

Drukowane w technologii 3D ceramiczne płytki modułowe do odbudowy rafy koralowej. Interdyscyplinarny projekt przestrzennie drukowanych płytek ceramicznych, rozwiązujący kryzys ekosystemu rafy koralowej

Jednym z aspektów kryzysu ekologicznego są zmiany klimatyczne, na które wpływ ma rosnący efekt cieplarniany. Wzrost temperatury wpływa na kilka ekosystemów, takich jak na przykład rafy koralowe na Pacyfiku i Oceanie Indyjskim. Rafy koralowe to bioróżnorodne ekosystemy, które regulują równowagę życiową wód i rozwijają się w określonych temperaturach wody. Temperatury wyższe od standardowych niszczą koralowce, które zamieniają się w tzw. koralowce bielone. Naturalne siedlisko i bujne życie podwodne zanika. Degradacja przyrody jest jednym z największych zagrożeń, które rodzą pytanie, czy istnieje droga powrotna poprzez zrównoważony rozwój w przemyśle i aspektach produkcyjnych. Tropikalny krajobraz przyciąga turystykę, która jest częścią ekonomicznego przetrwania obszarów przybrzeżnych i wysp. W większości przypadków turystyka wiąże się z większym zużyciem energii i zasobów naturalnych, czego skutkiem jest powstawanie odpadów produkcyjnych [7]. Świadomość ekologiczna wydaje się być mniej ważna ze względu na zysk, ale jak długo przyroda będzie służyć chciwości [2]? Kwestia umierających koralowców jest motywującym punktem wyjścia do zaprojektowania i wyprodukowania drukowanych modułowych płytek ceramicznych w celu odbudowy zniszczonych raf koralowych. Zestaw drukowanych modułowych płytek został zaprojektowany z myślą o projektach akwakultury koralowej, których ramy wyznaczają wartości zrównoważonego rozwoju. Hodowla koralowców ma na celu poprawę bioróżnorodności ekosystemu zdegradowanych raf koralowych [3].

Analiza i inspiracja

W ostatnich latach biolodzy morscy rozpoczęli badania i opracowali strategię odbudowy wybielonych raf koralowych. Możliwe jest hodowanie młodych raf przy pomocy specyficznych systemów strukturalnych, które są przyjazne naturalnym potrzebom koralowców. Ceramika jest bardzo dobrym materiałem, który wytrzymuje wilgoć i jest w stanie przez długi czas gościć siedliska morskiej flory. Projekt przedstawia parę ceramicznych, zazębiających się płytek modułowych, które są przystosowane



8. Ławki na pływającym doku z podstrukturalnymi drukowanymi w 3D ceramicznymi płytkami rafowymi. Źródło: F. Kolaiti
Benches on floating dock with substructural 3D printed ceramic reef tiles. Source: F. Kolaiti



9. Renderowane ławki na pływającym doku z podstrukturalnymi, drukowanymi w 3D ceramicznymi płytkami rafowymi. Źródło: F. Kolaiti
Rendered benches on floating dock with substructural 3D printed ceramic reef tiles. Source: F. Kolaiti



10. Makieta modułowych płytek rafowych, wydrukowana w 3D, polywood. Źródło: F. Kolaiti
Maquette of the modular reef tiles, 3D printed, polywood. Source: F. Kolaiti



11a. Ceramiczne, drukowane w 3D, płytki podstrukturalne rafy. Źródło: F. Kolaiti
Ceramic 3D printed substructural reef tiles. Source: F. Kolaiti



11b. Ceramiczne, drukowane w 3D, płytki podstrukturalne rafy. Źródło: F. Kolaiti
Ceramic 3D printed substructural reef tiles. Source: F. Kolaiti

do druku przy pomocy robota lub dużej drukarki 3D. Płytki te tworzą geometryczne ścieżki, które oferują miejsce młodym koralowcom, które są umieszczane na podłożu epoksydowym lub betonowym na powierzchni ceramicznej. Potencjał odtworzenia koralowców jest dość duży, jednak koralowce są gatunkiem wolno rosnącym, co oznacza, że badania biologiczne będą możliwe przez wiele lat.

Projekt odbudowy rafy koralowej jest prezentowany społeczeństwu poprzez użycie pływających doków i publicznych ławek, które wspierają próbę przywrócenia naturalnego środowiska. Każdy dok może pomieścić dwie ławki, które tworzą przestrzeń społeczną o charakterze edukacyjnym. Platforma i ławka są wykonane z drewna pochodzącego z recyklingu, z odpadów drewna morskiego i aluminiowych prętów. W ten sposób konstrukcja ogranicza zużycie nowego drewna i ślad węglowy oraz daje szansę firmom budującym łodzie na inwestowanie w zrównoważoną współpracę z projektantami. Idea zrównoważonego rozwoju i przywrócenia ekosystemu jest przekazywana nurkom i mieszkańcom oraz turystom podczas zwiedzania obiektu. Cel turystyki może zmienić się w bardziej świadome działanie na rzecz natury w porównaniu z istniejącym kapitalistycznym modelem podróżowania, który ma na celu bycie obsługiwanym oraz konsumpcję.

Forma ławki jest zaokrąglona, aby zbliżyć użytkowników do siebie, a nawet ustawić ich naprzeciwko siebie, ale jednocześnie oferuje pełny widok na krajobraz, zarówno na morski horyzont, jak i na dno. Platforma dokująca przymocowana jest do dna przy pomocy śrubowej kotwicy, umieszczonej w betonowej zwartej formie cylindrycznej. Połączenie z kotwicą uzyskuje się przy pomocy liny przecinającej górny pierścień kotwicy, która rozluźnia się i rozciąga pod wpływem siły grawitacji wody. Konstrukcja ta reguluje unoszenie się doku w zależności od poziomu wody. Dok unoszony jest siłą plastikowych beczek z recyklingu i jest połączony z długimi deskami przy pomocy metalowych zawiasów, które pozwalają na poruszanie się i odbijanie doku z większą elastycznością. Kolory, wybrane dla ławki, nawiązują do czerwieni koralowej, żywego koralu i zimnej bieli jako koralowca wybielonego, alarmując o konieczności działania wobec problemu.

Celem tego przedsięwzięcia jest uświadomienie o konieczności ochrony i odbudowy środowiska naturalnego w przypadku zagrożenia. Jest to sytuacja kryzysowa, która wymaga zastosowania rozwiązań zrównoważonego rozwoju w projektowaniu dla ludzi i krajobrazu naturalnego. Odtworzenie rafy koralowej jest istotnym punktem wyjścia.

Projektowanie i proces druku 3D płytek modułowych

Konieczność odbudowy naturalnego ekosystemu raf koralowych w pobliżu wybrzeża doprowadziła do zaprojektowania funkcjonalnych komponentów, które mogłyby pomieścić hodowlę koralowców z perspektywą utworzenia i utrzymania długotrwałych, bioróżnorodnych ekosystemów. Projekt płytek modułowych ma zapewnić stworzenie ekosystemu, który ma ekologiczną stabilność oraz tendencję do przywracania stanu równowagi po okresie tragicznego kryzysu, spowodowanego wzrostem temperatury wody. Biologowie sugerują, że szkółki koralowe mogą pielęgnować młode koralowce na określonych strukturach podwodnych, umocowane przy pomocy cementu lub epoksydów. Korale wymagają odpowiedniej odległości między sobą i powinny pozostawać nieruchome.

Do wykonania skutecznej płytki idealnie nadają się moduły heksagonalne. Dwie płytki są ze sobą sparowane, gdy nóżka nośna pierwszej płytki pasuje do szczelin modułowych drugiej płytki. Płytki ceramiczne jako pojawiające się obiekty uzyskują geometryczne struktury z wyższymi i niższymi poziomami, które umożliwiają instalację i uprawę koralowców. Kształty te są w całości drukowane przestrzennie i dzięki procesowi produkcyjnemu są uznawane za pojawiające się obiekty. Ceramiczna technika druku 3D została uznana za ważną dla tego projektu, ponieważ ta technologia zapewnia cechę regulowanego i stabilnego wypełnienia, które zostało wykorzystane w celu zabezpieczenia materiału genetycznego, tzw. larw koralowców, które są uwalniane z wyhodowanych koralu macierzystych. Drukowane prostoliniowe wypełnienie ma strukturę siatki, która tworzy ochronny system rozstępów, w których rozmnażanie koralowców może odbywać się bezpiecznie. Drapieżniki nie mogą zakłócić tego procesu, a zapłodnione larwy są chronione przez

złożoną formułę. Metoda druku 3D, która jest wykorzystywana do produkcji heksagonalnych płytek modułowych jest odpowiednia do osiągnięcia trwałego i szybko produkowanego projektu ceramicznego, który zmierza do zrównoważonego rozwiązania [5].

Demokratyzacja druku 3D jest częścią nowatorskich wartości, które charakteryzują tę metodę. Drukarka 3D przystosowana do wytłaczania masy plastycznej, która będzie drukowała płytki, jest możliwa do skonstruowania i zabudowania jak najbliżej miejsca realizacji projektu. Drukarka 3D modelująca poprzez nanoszenie topionego materiału, która w procesie druku wykorzystuje topiony, termoplastyczny filament taki jak PLA, ABS lub inne tworzywa sztuczne, może ewentualnie wydrukować wszystkie potrzebne części do budowy drukarki 3D do wytłaczania pasty, która wydrukuje modułowe płytki na miejscu. Projektanci i badacze mogą łatwo rozpocząć produkcję płytek uzupełniających w pobliżu miejsca ostatecznej instalacji. Proces ten ogranicza do minimum ślad węglowy ciężkiego przemysłu produkcyjnego i transportu, a w przypadku projektów niskobudżetowych proces druku 3D oferuje zrównoważenie finansowe i samowystarczalną produkcję [4].

Podsumowanie

Dorastanie w świecie z datą ważności jest nie do zniesienia. Obserwowanie piękna przyrody, jej krajobrazów i żywych ekosystemów rozwija świadomość i percepcję. Bolesne jest uświadomienie sobie młodemu artyście, że szkody, które zostały spowodowane przez naszych przodków, mają swoją cenę. Powinniśmy wziąć pod uwagę, że siła wyboru jest nadal częścią naszej wolności. Wybór zrównoważonego stylu życia, w tym sposobu budowania naszych miast i domów, odzwierciedla zaawansowaną kulturę. Człowiek dowodzi, że badania mogą prowadzić do rozwiązań, które pozwalają zmienić świat, z potencjałem odbudowy tego, co zostało zniszczone. Sztuka i design motywują do nowych sposobów zachowań społecznych i kulturowych, charakteryzujących się świadomością ekologiczną. Nie ma przyszłości dla człowieka i środowiska naturalnego bez przemyślanych planów w przemyśle i sposobie życia. Jest jednak wiele opcji do wyboru w kwestii zrównoważonej kultury. Wybór wciąż jest częścią wolności, a sztuka będzie motywować uczciwymi kierunkami.

Prezentowane w publikacji prace są częścią mojego projektu dyplomowego magisterskiego, wykonanego pod opieką dr Renaty Bonter Jędrzejewskiej i Magdaleny Kasprzycy.

The following paper describes the presence of 3D printing in the production of tiles as ceramic architectural components, with focus on sustainability for the building industry. Modern technologies associated with 3D printing using several materials have started being involved in prototyping, fabrication process and manufacturing methods in more advanced terms. Considering that Earth is already at the alarming state of almost the end of resources, sustainability and environmental respect should be taken into account in the design process. It is highly preferable to focus on sustainability minimizing the carbon footprint, the massive production waste and the greener solutions, improving the building performance of construction and functionality. 3D printed ceramics contains two positive values, 3D printing with paste extruder as an innovative process and the traditional ceramic material that historically signifies that humans used clay which later was fired to produce functional objects. During the realization of this project, I designed and printed Polywood and PLA filament maquettes, plaster molds, 3D printed prototypes in PLA and clay filament in an effort to achieve a precise, sustainable and fast production of ceramic decorative tiles as emerging architectural components that solve ecological issues while they represent aesthetics of future sustainable fabrication. Additionally, I used raw clay which I collected in order to promote the idea of using local materials in architecture, avoiding the carbon pollution of continuous massive international shipping in commerce. Regarding the restoration of the natural eco system I used terracotta low firing clay and I focused on characteristics of the ceramic material such as the long-lasting product life, humidity maintenance, lack of toxicity towards the environment and the availability as a common natural resource. 3D printing technology in ceramic design and production offers the chance to produce functional architectural units that obtain high durability, structural complexity and prevents production issues compared to analogue processes, minimizes waste and it is less time consuming.


Keywords: 3D printing, PLA, sustainable, emerging objects, ceramic tiles, architecture

A study on ceramic architectural components as emerging objects in sustainable design and ecosystem restoration

— Fania Kolaiti

**Doctoral School, The Eugeniusz Geppert Academy of Art
and Design in Wrocław**

fkolaiti1@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-8982-6196>

**“Fossil Tiles”, a series of ceramic tiles with combination of traditional analogue
production methods and 3D printing techniques**

Inspiration from local architecture and landscape

The project of the Fossil Tiles consists of two quartets of ceramic tiles created by combining traditional techniques of handmade ceramic tiles and 3D printing technology for the creation of complex geometric design than was realized in clay and it was used

for decoration the series of tiles as a positive and negative relief in the reverse case. The material that was chosen for the development of the project was raw clay which was self-picked from coastal area. The ceramic tiles are suitable for wall or floor decoration in both interior and exterior spaces. The design of the Fossil Tiles is suitable for wall decoration because it obtains a high relief which should not be stepped. The conceptual idea of the Fossil Tiles is inspired by the landscape of the location (Xi beach, Cephalonia, Greece) where the raw clay was collected and the light brownish yellow tone of ochre color of the fired clay corresponds to the local architectural characteristics of wall coloring of the island of Cephalonia, Greece. Historically, the ochre color for walls comes from the traditional Marmorino Veneziano is a type of plaster based on calcium oxide and used for interior and exterior wall decorations [6]. Cephalonia Island (together with the rest of Ionian Islands) was colonized by the Republic of Venice from 1500 until 1797 and its architecture was highly connected with Venetian Gothic Architecture. A catastrophic earthquake in 1953 destroyed most of the buildings on the island which were rarely restored and rebuilt according to the original archetypes. The historical architecture of the island is on crisis because of the minimum sponsoring from the state and the absence of investments related to restoration of architecture. The raw clay is one of the representative materials of the area, the municipality of Paliki, and the ashy green color makes the clay recognizable on different parts of the countryside. After firing the first sample of the clay, the result was surprisingly successful. During the research around the area, it was noticed that ceramic art is missing from the local culture and the knowledge of functional ceramic design seems to be forgotten by the locals. Although ceramic roof tiles are another obligatory characteristic of the local architecture in order to follow the Venetian and later Neoclassical type of Architecture, there is no tradition of tile making that has survived through the years and the roof ceramic components are mainly imported. The green clay from Paliki could be an excellent material for sustainable solutions in ceramic design for architectural use and it reflects originality and cultural heritage. As a local recourse, the clay could be used in several ceramic projects for interior wall decoration, gate and yard ornaments or garden furniture. Visualizing a future of design with principles of sustainability takes us closer to a possible speculative change [1, p. 8-189].

For the purpose of giving prominence to local architecture by using ceramic components, I decided to design the series of Fossil tiles which obtain a sophisticated ornamental ring knot, inspired by the landscape relief of raw clay cliffs and hills of the countryside of Paliki.

Designing the “Fossil Tiles”

The idea of realizing the project of Fossil Tiles was inspired by the natural landscape of the site of Paliki on Cephalonia Island in Greece. The richness of the recourse of clay in the natural environment is an obvious characteristic and it appears as entire hill in the mainland and it reaches the west south coastal areas of the island. A small sample of clay was collected in order to express an example of how ceramic material relates to sustainability in Architecture and Interior Design while it is possible to combine 3D printing in the process of designing in order to respect the values of recycling and reducing. It is interesting to mention that despite of the high amounts of the material in the natural environment of Paliki, the local communities are not related to ceramic design and production. Although the housing architecture of the Island includes ceramic roof tiles, and this is an obligation in order to follow the traditional the island misses initiatives that could promote the local clay as a sustainable solution for local building industry. Mainly, the ceramic tiles that are used in interior decoration are imported and mass commerce of basic ceramic tiles is the most common contribution for the decoration of buildings. The mass transport of ceramics manufactured abroad is related to carbon footprint it is not a sustainable solution for a green housing project. The use of local clay for selective decorative projects could inspire the idea to focus on using local materials aiming to design using the Sustainability value of reducing carbon footprint. The raw clay which was collected seems to be an excellent material to realize a sustainable project of ceramic tiles for decorating walls of interior and exterior space of a house.

The Fossil Tiles consist of two sets of quartets of ceramic tiles and their dimensions equal to 12 by 12 cm. They were designed by combining traditional analogue techniques of handmade ceramic tile making and 3D printing applications for the prototyping of the relief decoration which was applied on the tiles. The two versions of quartets obtain a positive relieve and a negative relief as an ornament [7].

The use of 3D modeling program was mandatory for designing a complex geometry of an elliptical knot ring. The ring was modified with effects that twisted the shape and later it was cut through the x and y axis. Later the shape was exported to STL file in order to proceed with 3D printing.

The technology of 3D printing was chosen as to achieve the precision of the designed shape which would be almost impossible to design using primitive modeling technique. The 3D printing technology offers the advantage of avoiding the time consuming handmade complex design and it ensures dimensional precision.

In order to print the file, it was used PLA filament which is a common and relatively cheap material comparing to different thermoplastics. Polylactic Acid (PLA), is popular for being used in desktop 3D printing. It is the default filament of choice for most extrusion-based 3D printers because it can be printed at a low temperature and does not require a heated bed. PLA is 100% recyclable filament. The wasted parts that might come out of the printing process can be collected and melted. The melted PLA is turned into new spools using a 3D printer filament recycling machine. As a result the process of designing the project includes recyclable materials that minimize the time, the discarding of the design errors and the toxicity of other polymers that are commonly used in the process of mass production design. It is high time to rethink the process of manufacturing of industrial products and heavy industry needs to revise the environmental assessments considering necessary a conscious production and engineering plan focused on sustainable solutions [9].

3D printing involvement in the designing process

The modern technology of 3D printing offers a wide range of solutions in the design process in a more advanced way comparing to the traditional methods. In the case of creating a relief for a ceramic tile such as the example of Fossil tiles, 3D printing technology offered the chance to print a complex computational shape with precision and in a short time comparing to a handmade project. The estimated time to print the ring shape was three hours while the handmade version with clay would take multiple working hours. Besides, the complex geometries and ratios would create restrictions during the making of the prototyping while the 3D printer accomplishes the printing order with efficiency. The printable project is a virtual file and it does not require physical space for storing. Also, the project can be printed whenever it is needed with very low cost process without having to invest on tools and multiple industrialized materials.

Plastic materials are the most common in 3D printing because they are light and cheap. Plastic polymers have also the advantage of being recycled and shaped into filaments for reusing. This is a promising idea that inspires the value of reusing the wasted material from the manufacturing process and also motivates the transformation of wasted thermoplastic polymers that pollutes the environment into filaments for 3D printing technology.

The production of printable projects only requires the material needed for the print with little or no wastage as compared to old-school methods which contain essential combination of techniques and multiple use materials and machines. As a result, process of 3D printing minimizes the production cost, the material cost and the work effort of everyday working shifts. 3D printers can be set up and left to work without assistance which means that there is no need for operators to be present the entire time. If the printer is considered to be not affordable the project can be printed to an operational 3D printing company.

In the case of the ring torus that was used for the project of Fossil Tiles the geometry of the shape of torus refers to the mathematical field of topology. The mathematical knot has connected ends so it does not get undone (getting unknot). It is called the unknot

torus according to the theory of mathematical knots. The torus consists of 53 segments and its Q and R are equivalent to 1. It is twisted thirteen times and it has an eccentricity of 0.75. In an effort to achieve a result that ensures the presence of metrics which are closest possible to the mathematical characteristics, 3D printing technique is striking suitable. 3D printing is an easy way to avoid simplified and non balanced results that will not reach the impressive precision of the digitally printed items. The designing process of prototyping is faster than ever and is happening only by using usually one material and one tool, the 3D printer.

3D printed ceramic module tiles for coral reef restoration. Interdisciplinary project of 3D printed ceramic tiles solving the ecosystem crisis of coral reef

One of the issues of the environmental crisis is the climate change which is proven to be affected by the increasing greenhouse effect. The uprising temperatures affect several ecosystems such as coral reefs in Pacific and Indian Ocean. Coral reefs are bio-diverse ecosystems that regulate the life balance of waters and they flourish in certain water temperatures. Higher temperatures than the regular ones destroy corals which they turn into the so the called bleached corals. The natural habitat and the vivid underwater life is fading. The degradation of nature is one of the biggest threats that questions if there is a way back through sustainability in industry and production aspects. The tropical landscape attracts tourism which is part of the economic survival of the coastal areas and islands. In most of the cases tourism comes with higher use of energy and of natural resources and as a result production waste occurs [7]. Environmental consciousness seems to be less important for reasons of profit but for how long nature will be serving the greediness [2]? The issue of dying corals is a motivating starting point to design and produce 3D printed modular ceramic tiles to restore the damaged coral reefs. A set of 3D printed modular tiles was designed for coral aquaculture projects framed by sustainability values. Coral farming aims to improve the ecosystem biodiversity of degraded coral reefs [3].

Analysis and inspiration

During the last years marine biologists have started researching and coming up with strategies to restore the bleached coral reefs. It is possible to farm young reefs with specific structural systems that are friendly to coral natural needs. Ceramic is a very suitable material that stands humidity and it is capable to host marine flora habitats for long term periods. The project presents a pair of ceramic interlocking module tiles, that are designed for printing production by robotic or large scale 3D printer. They obtain geometrical paths that offer space for attachment of young corals which are placed with foundation of epoxy or concrete on the ceramic surface. The potential of restoration of corals is quite high however corals are slow growers which means that the biological research is open for years.

The project of coral reef restoration is introduced to the public with the involvement of floating docks and public benches that promote the attempt of restoring the natural environment. Each dock can host two benches that create a social situation with educational character. The platform and the bench are made with recycled wood from discarded marine wood and aluminum hollow bars. In this way, the construction limits the use of brand new wood and carbon footprint and offers a chance to boat building companies to invest in sustainable collaborations with designers. The idea of sustainability and eco-systemic re-establishment is spread during the visit of the site towards the attracted tourists, divers, locals. The purpose of tourism can change itself to a more conscious act as towards nature comparing to the existing capitalistic model of traveling to be served and consume.

The bench is designed in a rounded way in order to bring users closer to each other, even facing each other but also offers a full view to the landscape across the sea horizon and the bottom as well. The dock platform beyond the bench is secured to the bottom with a screwed anchor centered to a concrete compact cylindrical form.

The connection with the anchor is achieved with a rope crossing the top ring of the anchor while it loosens and stretches according to the water's gravitational force. This structure regulates the floating of the dock depending on the flooding of water. The dock is lifted by the force of recycled plastic barrels and it is connected to the long decks with metal hinges that let the dock move and bounce with more flexibility. The colors chosen for the bench refer to the coral red, the living coral and cold white as the bleached coral alarming the necessity of acting towards the problem.

The goal of this project is to motivate awareness of protection and restoration of the natural environment on crisis. It is an emergency to involve sustainability solutions in designing for humans and the natural landscape. Coral reef restoration is an important starting point.

Designing and 3D printing process of the module tiles

The needs of rehabilitation of the natural ecosystem of coral reefs near coasts led to the design of functional components that could host the cultivation of your corals with a perspective to enforce the creation and maintenance of long lasting bio diverse ecosystems. The design of the module tiles is expected to provide the creation of an ecosystem that possesses ecological stability and tends to bring back the equilibrium state after a period of fatal crisis created by the rising of water temperature. Marine Biologists suggest that coral nursery projects can nurture young corals on specific underwater structures by attaching(building) them using cement or epoxy. Corals require a relative distance between each other and they should stay unmoved.

In order to produce a successful tiling the hexagonal modules are ideal. The two tiles are pairing with each other when the supporting leg of the first tile matches the module gaps of the second tile. The ceramic tiles as emerging objects obtain geometrical structures with higher and lower levels that allow the installment and cultivation of corals. The shapes are entirely 3D printed and thanks to this manufacturing process they are considered emerging objects. The ceramic 3D printing technique was considered important for this project because such technology provide the characteristic of a regulated and stable infill which was used in order to secure genetic material, the so called coral larvae that is released from grown parental corals. The 3D printed rectilinear infill has the structure of a mesh that creates a protective system of stria where the reproduction of corals can happen safely. Predators cannot bother the process and the fertilized larvae are supported by the complex formulation. The 3D printing method which is used to produce the hexagonal modular tiles is suitable for the achievement of a durable and fast produced ceramic design that aims both to a sustainable solution [5].

The democratization of 3D printing is part of the innovative values that characterize this method. A paste extrusion 3D printer which will print the tiles is possible to be constructed and built up as close as possible to the location of the realization of the project. A fused deposition modeling 3D printer which print in fused thermoplastic filament like PLA, ABS or other plastics can possibly print all the needed parts to build a paste extrusion 3D printer which will print the modular tiles on site. Designers and researchers can easily start a production of the restorative tiles near the site of the final installation. The process is minimizing the carbon footprint of heavy production industry and transportation and in cases of low budget projects the 3D printing process offers financial sustainability and self-sufficient manufacturing [4].

Conclusion

It is unbearable to grow up in a world with an expiring date. Observing the beauty of nature with her landscapes and living ecosystems develops consciousness and perception. It is just painful to realize as a young artist that damage which was provoked by our ancestors has a price to pay. We should consider that the power of choice is still part of our freedom. Choosing to follow a sustainable lifestyle including the way that we build our cities and homes reflect an advanced culture. Human

proves that research can lead to solutions that can change the world with potential to restore what was devastated. Art and design can be motives to influence new ways of social and cultural behaviors characterized by environmental consciousness. There is no future for human and the natural environment without mindful plans in industry and way of living. But there are multiple options to choose for a sustainable culture. Choosing is still part of freedom and art will be motivating with fair directions.

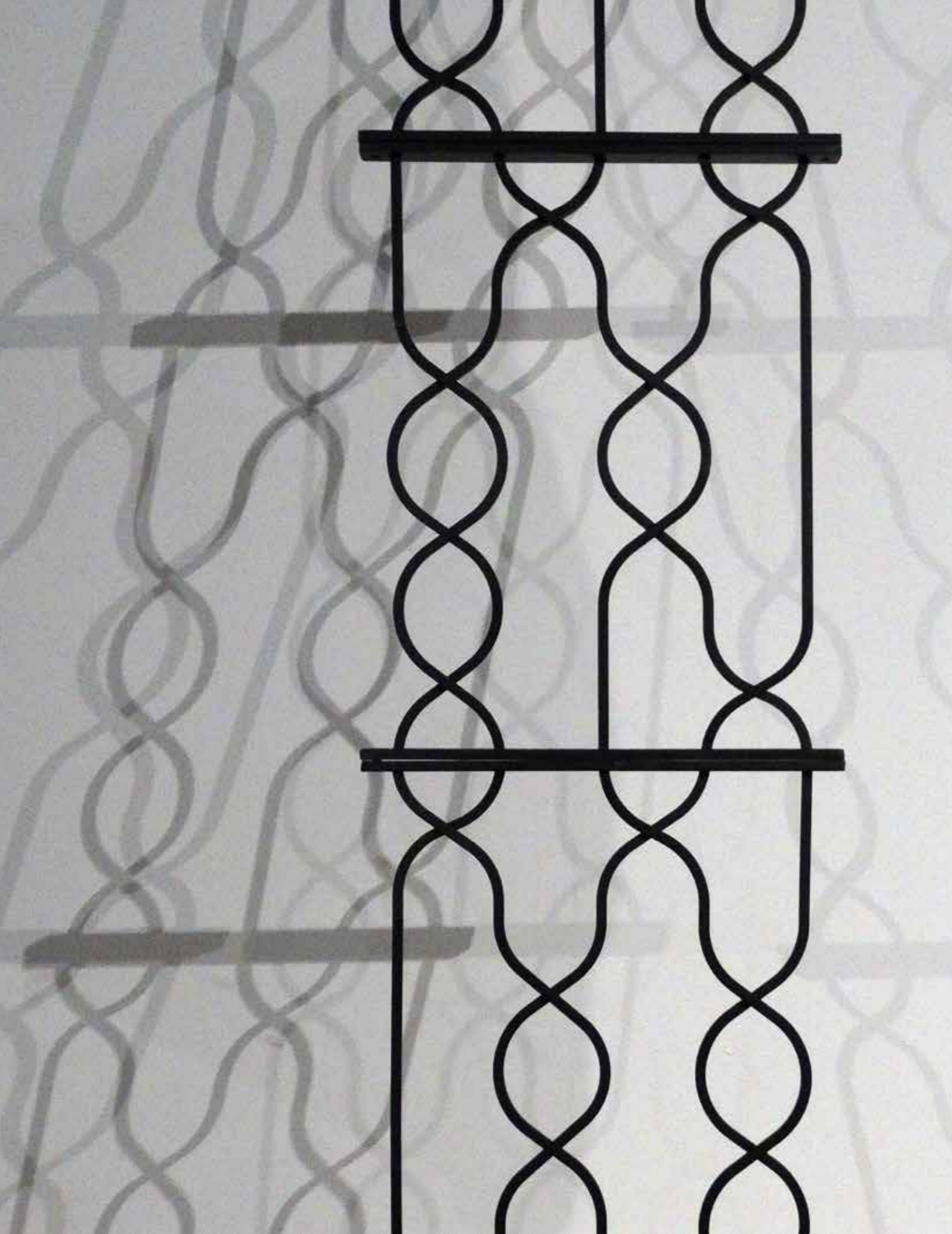
The works that are presented at the publication are part of my Master in Fine Arts diploma project, done under the Supervision of Renata Bonter Jędrzejewska (PhD in Fine Arts) and Magdalena Kasprzyca.

Bibliografia Bibliography

- [1] Dunne A., Raby F., *Speculative Everything*, London, Massachusetts Institute of Technology, 2013.
- [2] Fisher M., *Capitalist Realism*, O Books, Hants UK, 2009.
- [3] Jaap W.C., *Coral reef restoration*, Ecological Engineering 15 (2000).
- [4] Keep J., *A guide to clay 3D printing*, self-published, November 2020.
- [5] Keep J., *The Fourth Way*, Ceramic Review 270, 2014.
- [6] Polistena G., *History of Marmorino*, Stucco Italiano, 2012.
- [7] Tafuri M., *Architecture and Utopia Design and Capitalist Development*, The MIT Press, The Massachusetts Institute of Technology, 1976.
- [8] Topličić-Ćurčić G., Momčilović-Petronijević A., Ćurčić A., *Architecture and ceramic materials, development through time: ceramic tiles and ceramic roof tiles*, Serbia, Faculty of Civil Engineering and Architecture, University of Niš, 2018.
- [9] Warnier C., *Printing things: Visions and Essentials for 3D Printing*, Gestalten, 2014.

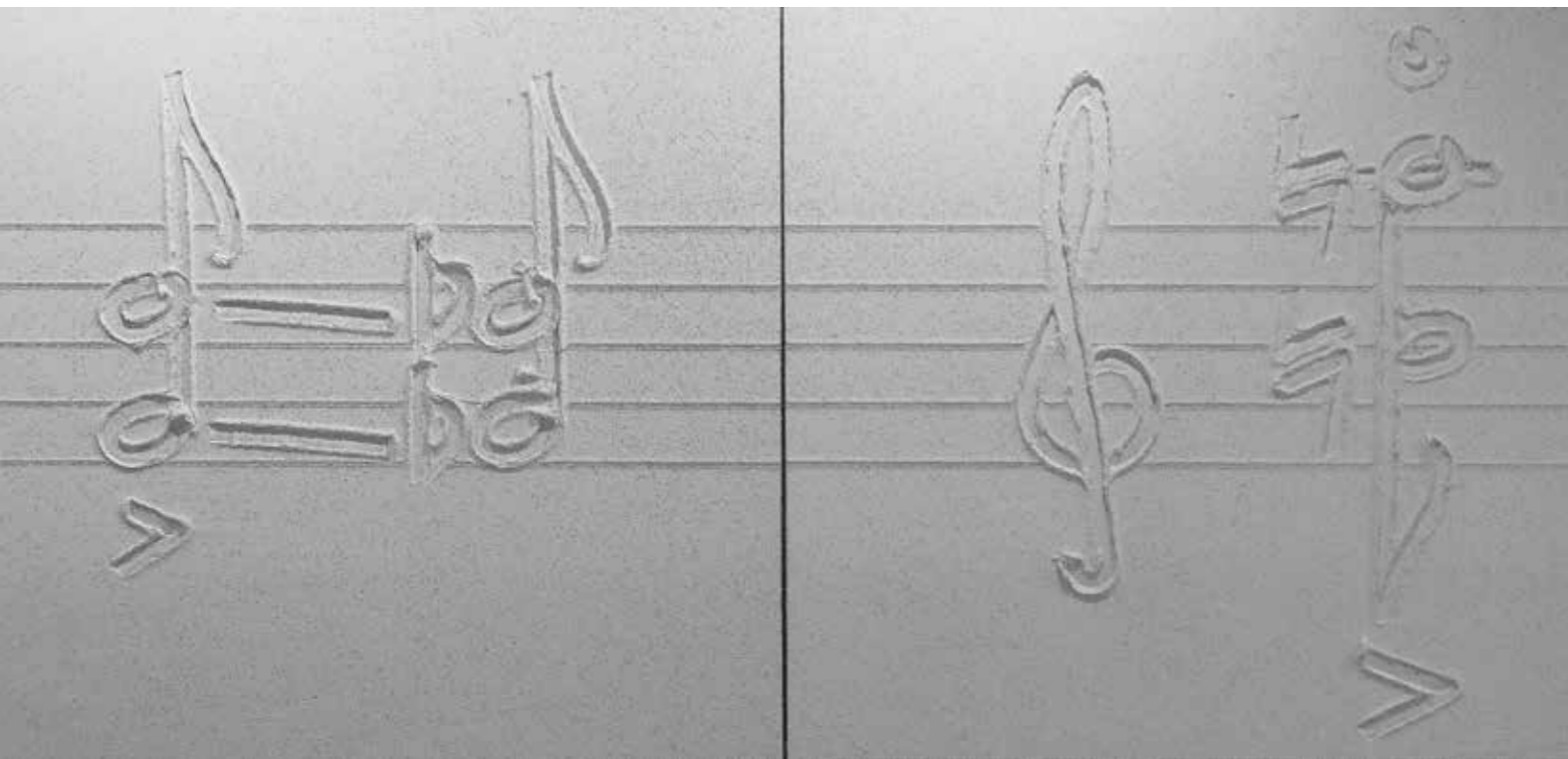


11c. Ceramiczne, drukowane w 3D, płytki podstrukturalne rafy. Źródło: F. Kolaiti.
Ceramic 3D printed substructural reef tiles. Source: F. Kolaiti.



III.

**CYFROWY RODOWÓD —
DIGITAL LINEAGE**



1. *PARTYTURA*, próba badawcza z dnia 24.06.2022 wydruku fragmentu projektu, technologia SkribiArt, wykonawca: 3dArtech, głowica C - szpachelka, ślad linii - szpachelka o szer. 5 mm, ślad nut - szpachelka o szer. 30 mm, głębokość rycia: do 8 mm, profil:
- MUSIC SCORE*, test print sample of June 24, 2022, of a design fragment, SkribiArt technology, producer: 3dArtech, head C - spatula, line trace - spatula 5 mm wide, trace of the notes - spatula 30 mm wide, engraving depth: up to 8 mm, profile:



2. *PARTYTURA*, próba badawcza z dnia 24.06.2022 - detal
MUSIC SCORE, test print sample of June 24, 2022 - detal

Tekst przedstawia założenia, charakterystykę i wnioski projektu badawczego dotyczącego zastosowania druku 3D w ramach wielkoskalowej propozycji artystycznej do zastosowania na elewacji wewnętrznej budynku. Podjęta praca badawcza sprawdza możliwości zastosowania innowacyjnej technologii [5, s. 355-366]. Jej wynikiem nie jest dzieło skończone, lecz próby dla kolejnych eksperymentów. Zwrócono szczególną uwagę na powiązania pomiędzy uwarunkowaniami technologii a efektem artystycznym [6].

Słowa kluczowe: druk 3D, sztuka cyfrowa, sztuka współczesna, architektura, nowe technologie

PARTYTURA, 2022

— Małgorzata Kaczmarska

Wydział Rzeźby i Mediacji Sztuki
Akademia Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu

m.kaczmarska@asp.wroc.pl

<https://orcid.org/0000-0002-4003-119X>

Partytura, autorski projekt badawczy dotyczący artystycznej koncepcji elewacji wewnętrznej dla obiektu dedykowanego muzyce

Założenia projektowe - przestrzeń. Ściana foyer dowolnego obiektu dedykowanego muzyce o wymiarach 13×30 m, z otworami (drzwi/przejścia) jako elementami ruchomymi w dolnej kondygnacji oraz z przeszkleniami w kondygnacji górnej.

Założenia projektowe - technologie. Panele ściienne wewnętrzne drukowane w wielkoskalowej technologii 3D z materiału zbliżonego wyglądem do betonu w kolorze białym, przeszklenia - szkło trawione.

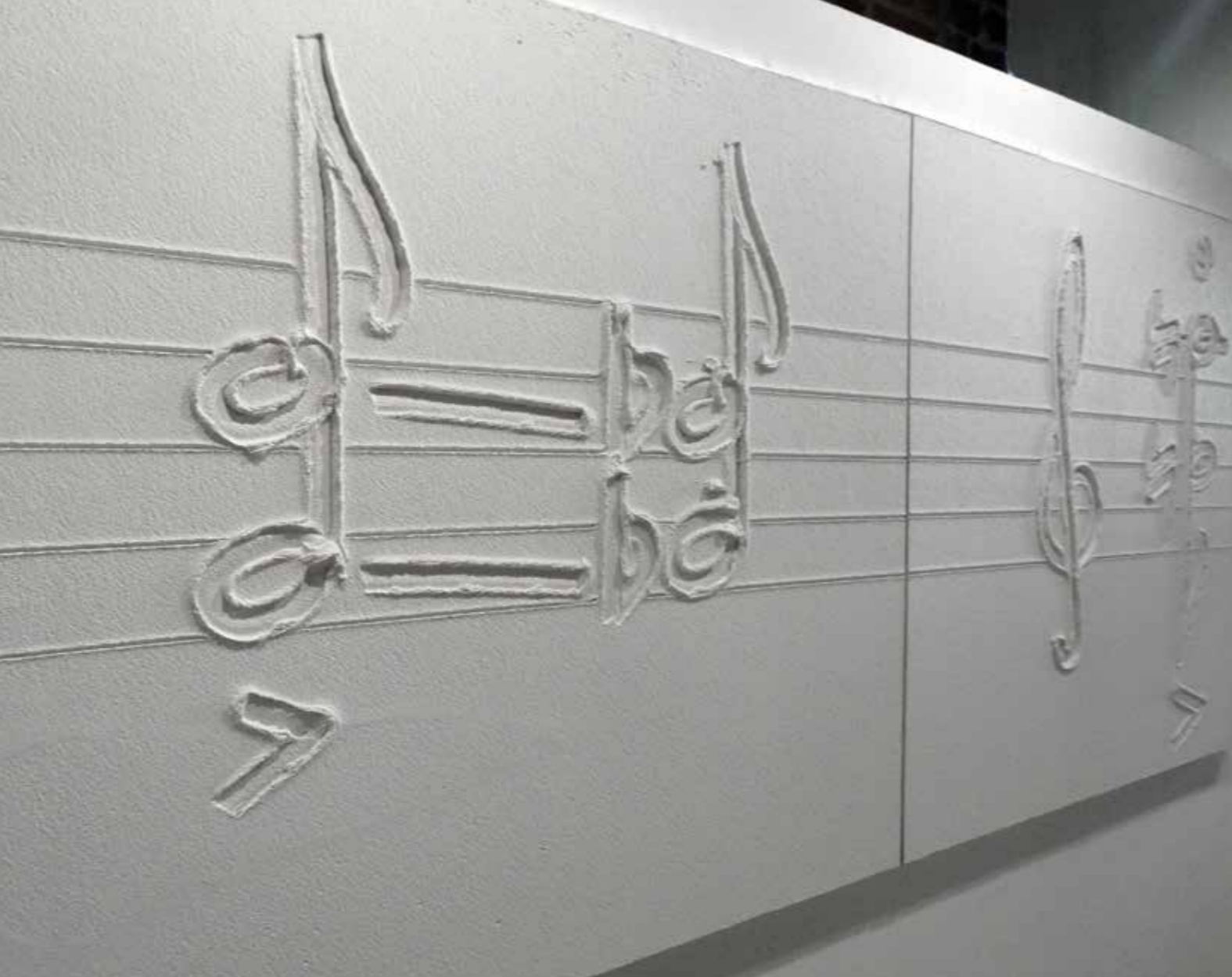
Założenia ideowe. Projekt sięga do partytury nowatorskiego kompozytora Bogusława Schaeffera¹, którą można czytać/odtworzać w sekwencjach dowolnie kombinowanych² co harmonizuje z przeznaczeniem budynku i miejscem realizacji projektu artystycznego - w ramach elewacji o konkretnych uwarunkowaniach (dostępna powierzchnia), w której niektóre elementy są ruchome lub ich widoczność zależy od punktu obserwacji.

Charakterystyka problematyki badawczej. Rękopis partytury powinien zostać przełożony na ślad narzędzia tak, aby ślad narzędzia naśladował sekwencje pisania nut, gdyż ma to znaczenie w odczycie dźwięku; warto uwzględnić charakter pisma

¹ Z partyturami Bogusława Schaeffera (1929-2019) zetknęłam się w latach 90. XX w. Wówczas też miałam szansę usłyszeć kilka wykonań tej muzyki, które zrobiły na mnie ogromne wrażenie. Jego eksperymentalne podejście do dźwięku i jego zapisu [1, 2] rezonuje z wykorzystaniem nowych technologii w moim projekcie.

² Zapis muzyczny, który zwrócił moją uwagę, to partia wiolonczeli utworu B. Schaeffera *Monodram* z 1968 r., wersja zapisu z archiwum Bolesława Błaszczyka [2, 4].





4. *PARTYTURA*, próba badawcza z dnia 24.06.2022 – detal

Efekt wizualny przy oglądaniu wydruku z niewielkiej odległości i pod kątem (nie na wprost), w warunkach równomiernego oświetlenia.

Gęstość masy prawidłowa, dzięki czemu została odpowiednio oddana trójwymiarowość śladu. Matowy charakter masy warto zmodyfikować dodając drobiny połyskliwego pyłu. Pomimo „odręcznego” charakteru techniki wyraźnie widać, że szpachla obraca się w każdym momencie, tym samym zachowując stałą szerokość śladu. Ten efekt jest jednak zaprzeczeniem celu, czyli oddania zmienności związanej z pisaniem odręcznym, naciskiem narzędzia i różnorodnością kreski.

MUSIC SCORE, test print sample of June 24, 2022 – detail

The visual effect, when viewing the print from a short distance and at an angle (not straight ahead) in even lighting conditions. Correct mass density, allowing three-dimensionality of the trace to be properly rendered. The matt quality of the mass should be modified by adding specks of shiny dust. Despite the “handwritten” character of the technique, it is clearly visible that the spatula rotates perpetually, thus maintaining a constant track width. This effect, however, contradicts the goal of conveying the variability associated with handwriting, in which the pressure of the tool would change, and the variability of the line would follow.

autora muzyki, ale sprawić by ślad był czytelny muzycznie, równocześnie biorąc pod uwagę ekspresję plastyczną zapisu³ w kontekście projektu całej płaszczyzny. Do badań efektu w skali 1:1 wykorzystano technologię SkribiArt⁴ z użyciem głowicy C – szpachelki, gdyż naśladuje ona gest pisania, pozostawia widoczną kolejność tworzenia śladu oraz sprawia, że poprzez zapis nutowy wyryty w ścianie, dźwięk staje się integralną częścią płaszczyzny – z niej się wydobywa. Efekt plastyczny zależy od wielu zmiennych: użytej masy, profilu i wielkości szpachli, jej zanurzenia w masie. Całość projektu płaszczyzny musi uwzględniać podziały na poszczególne panele i możliwość ciągłości rycia w masie tylko w ramach jednego panelu o maksymalnych wymiarach 120×260 cm.

Wnioski robocze. Szerokość śladu i głębokość rycia mają znaczenie w kontekście skali wnętrza. Z analizy wykonanych próbnie paneli wynika, że odczytanie śladu jest możliwe w bliskiej odległości od panelu, natomiast przy pewnym oddaleniu, a szczególnie w skali wnętrza reprezentacyjnego – o wielometrowej wysokości, ślad w jednorodnym materiale, o zastosowanej w próbach szerokości i głębokości, przestanie być zauważalny, samodzielnie nie będzie miał znaczenia kompozycyjnego we wnętrzu; natomiast połączone panele, jako powierzchnia o innym charakterze, będą widoczne.

Ponadto, z przeprowadzonych prób wynika, iż aby osiągnąć zamierzony efekt plastyczny całej projektowanej powierzchni należy: przeprowadzić pogłębione badania, w konsultacji z muzykologiem, nad tworzeniem autorskiego śladu w ramach zapisu partytury; zróżnicować skalę wielkości poszczególnych sekwencji muzycznych; znacznie zwiększyć szerokość szpachli.

Przeprowadzone doświadczenie wyraźnie wskazało, że dla projektu niezbędne są konsultacje ze specjalistami różnych dziedzin m.in. architektami, muzykologami i autorami technologii wykorzystywanymi w realizacji projektu.

3 Nietradycyjny zapis muzyczny twórców w XX i XXI w. stał się przedmiotem ciekawej wystawy w MOCAR (Muzeum Sztuki Współczesnej w Krakowie) *Muzyka jako zapis. Muzyka jako eksperyment*, MOCAR, Galeria Beta, kuratorzy: Mirosława Błazy i Betina Fekser, 25.06.2021-13.03.2022 [3]. W posiadaniu muzeum jest kolekcja partytur graficznych współczesnych kompozytorów polskich, m.in. Marka Chołoniewskiego, Piotra Grelli-Możejki, Krzysztofa Pendereckiego, Ewy Synowiec, a także Bogusława Schaeffera, które były prezentowane podczas tej wystawy i wskazały mi skalę możliwości notacji muzycznej.

4 Autorska technologia opracowana przez firmę 3dArtech.



5. *PARTYTURA*, próba badawcza z dnia 24.06.2022 - detal wydruku oglądany z boków i na wprost
MUSIC SCORE, test print sample of June 24, 2022 - side and front view of a print detail



6. *PARTYTURA*, próba badawcza z dnia 24.06.2022 - detal wydruku oglądany z boków i na wprost
MUSIC SCORE, test print sample of June 24, 2022 - side and front view of a print detail

The text presents the assumptions, characteristics and conclusions of the research project on the use of 3D printing as part of a large-scale artistic proposal for use on the internal facade of the building. The undertaken research work examines the possibilities of applying an innovative technology [5, p. 355-366]. Its result is not a finished work, but tests for further experimentation. Particular attention was paid to the relationship between the determinants of technology and the artistic effect [6].

Keywords: 3D printing, digital art, contemporary art, architecture, new technologies

MUSIC SCORE, 2022

— Małgorzata Kaczmarek

**Faculty of Sculpture and Art Mediation
 The Eugeniusz Geppert Academy of Art and Design in Wrocław**

m.kaczmarek@asp.wroc.pl

 <https://orcid.org/0000-0002-4003-119X>

Music score, custom-designed research project on the artistic concept for the interior facade of a building dedicated to music

Design assumptions - space. A 13 x 30 m foyer wall of (any) building dedicated to music; with openings (doors/passages) as movable elements in the lower tier and with glass in the upper tier.

Design assumptions - technologies. Interior wall panels printed in large-scale 3D technology from a material similar to concrete in white, glazing - etched glass.

Conceptual assumptions. The project refers to a score by an innovative composer Bogusław Schaeffer¹ which can be read/played in freely combined sequences², and which is in synch with the purpose of the building and the location in which the artistic project is executed. It is set within a façade with specific conditions (available surface), in which some elements are movable or their visibility depends on the viewpoint.

The characteristics of the research problem. The manuscript of the score should be transferred into the tool trace in such a way that it would imitate the sequences of writing notes. Since this is significant for the reading of the sound, it is worth taking

¹ I came across the scores of Bogusław Schaeffer (1929-2019) in the 1990s. At that time, I also had a chance to hear several performances of this music, which made a great impression on me. His experimental approach to sound and its recording [1, 2] resonates with the use of new technologies in my project.

² The musical notation that caught my attention was the cello part of B. Schaeffer's „Monodram” from 1968, a version of the recording from the archives of Bolesław Błaszczyk [2, 4]



7. *PARTYTURA*, próba badawcza z dnia 24.06.2022 - detal

Zastosowana grubość masy pozwoliła na niewielką głębokość rycia. Zwiększenie głębokości śladu mogłoby wpłynąć korzystnie na jego widoczność i ekspresję w kontekście skali projektu. Taka zmiana wiąże się jednak z ponownym zbadaniem właściwości tężenia masy oraz wytrzymałości technicznej poszczególnych paneli, znacznemu zwiększeniu ulega też ich waga.

MUSIC SCORE, test print sample of June 24, 2022 - detail

The applied thickness of the mass allowed for a shallow engraving. Increasing the depth of the trace could have a positive effect on its visibility and expression in the context of the scale of the project. Such change, however, would require re-examination of the properties of the mass (the process of its setting, or binding), as well as technical strength of individual panels; also, the weight of the latter would significantly increase.

into account the handwriting of the composer, but make the trace musically legible, at the same time taking into consideration the artistic expression of the writing³ in the context of the design of the whole surface. To study the effect on a 1:1 scale, SkribiArt technology⁴ had been used with a C-head - a spatula - as it mimics the gesture of writing, leaves the sequence of trace creation visible, and makes the sound an integral part of the surface - as it emerges from it through the notation carved into the wall. The artistic effect relies on many factors: the material used, the profile and size of the spatula, its immersion in the material. The overall design of the surface must take into account the divisions between the individual panels, and the possibility of continuous engraving in the mass across just one panel, with the maximum dimensions of 120×260 cm.

Conclusions from the experimental process. The width of the trace and the depth of the engraving are important in the context of the scale of the interior. The analysis of the sample panels shows that reading the trace is possible in close proximity to the panel, while at a certain distance, especially on the scale of a representative interior of considerable height, the trace in a homogeneous material with the width and depth used in the tests will cease to be noticeable; individually, it will have no compositional significance in the interior - whereas the connected panels, as a surface of a different (distinct) character, will be visible.

From the trials that have been carried out, it appears that in order to achieve the intended artistic effect of the entire designed surface, it is necessary to: carry out in-depth research in consultation with a musicologist on the creation of the customized trace within the score notation; differentiate the size and scale of the individual musical sequences; significantly increase the width of the spatula.

Furthermore, the experiment that was carried out made it clear that consultations with specialists from various disciplines, including architects, musicologists and authors of the technology applied in project implementation will be necessary.

Bibliografia Bibliography

- [1] <https://culture.pl/pl/tworca/boguslaw-schaeffer/> (data dostępu/access: 03.06.2022).
- [2] <https://glissando.pl/artykuly/trzy-wspomnienia-o-schaefferze/> (data dostępu/access: 03.06.2022).
- [3] <https://www.mocak.pl/muzyka-jak-zapis-muzyka-jako-eksperyment/> (data dostępu/access: 03.06.2022).
- [4] <https://www.nowamuzyka.pl/2018/03/13/boguslaw-schaeffer-monodram/> (data dostępu/access: 03.06.2022).
- [5] Kaczmarek M., *Wpływ nowych technologii na praktykę artysty malarza na podstawie twórczości Davida Hockneya i działalności artystycznej autorki*, E. Doleżyńska-Sewerak, R. Mączyński (red.), *Wokół zagadnień warsztatu artysty: malarza, rzeźbiarza, architekta...*, Katedra Historii Sztuki i Kultury na Wydziale Nauk Historycznych Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, Toruń 2020.
- [6] *Materia impresa: de la virtualidad digital a la materialidad tridimensional en la investigación artística*, Comanegra, Barcelona 2016.

³ The non-traditional musical notation of artists in the 20th and 21st centuries became the subject of an interesting exhibition at MOCAK (Museum of Contemporary Art in Krakow) *Music as Record. Music as an experiment*, MOCAK, Galeria Beta, curators: Mirosława Błazy and Betina Fekser, June 25, 2022–March 13, 2022 [3]. The museum has a collection of graphic scores of contemporary Polish composers, among others by Marek Chołoniewski, Piotr Grelli-Możejko, Krzysztof Penderecki, Ewa Synowiec, as well as Bogusław Schaeffer. They were presented during this exhibition and showed me the scale of possibilities of musical notation.

⁴ Proprietary technology developed by 3dArtech.



Zastosowanie innowacyjnych rozwiązań technologicznych umożliwia realizację prac artystycznych, wpływając na formę dzieła, jakie do tej pory były poza zasięgiem twórców wizualnych. Poniższe rozważania opisują moją drogę w odkrywaniu nowych zasobów oraz metodę ich realizacji w autorskim projekcie artystycznym.

Słowa kluczowe: nowe technologie, druk 3D, sztuka cyfrowa, sztuka współczesna

MEANDER, 2022

— Monika Aleksandrowicz

**Wydział Rzeźby i Mediacji Sztuki
Akademia Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu**

m.aleksandrowicz@asp.wroc.pl

 <https://orcid.org/0000-0001-9450-1161>

Tematem prac wizualnych realizowanych w ramach projektu *Interakcja i Kreacja. Druk 3D jako narzędzie rozwiązań w sztukach wizualnych – konteksty* [2], był dla mnie labirynt, który ostatecznie zwieńczony został tytułem *Meander*. Składa się z cyklu realizacji wykonanych przy pomocy czterech innowacyjnych technologii druku. Powstałe obiekty wychodzą poza płaszczyznę, jednak nie są one klasyczną realizacją druku 3D.

Pierwszy raz sięgnęłam do motywu labiryntu w 2010, podczas 8. Przeglądu Sztuki SURVIVAL we Wrocławiu [1]. Labirynt jako parabola drogi artysty – od idei do realizacji osobistej wizji sztuki. Ma wymiar uporządkowanej wewnątrz, zamkniętej przestrzeni. Labirynt to miejsce, w którym dochodzi się do celu metodą prób i błędów. W przypadku moich realizacji posłużył jako geometryczny wzór, na pozór powtarzalny, pełniąc funkcję dekoracyjną, tak często stosowaną w architekturze, rzeźbie, ceramice i malarstwie. Labirynt jest motywem mocno wrośniętym w semantykę kulturową i jest dość łatwo rozpoznawalny. Labirynty mogą mieć różne funkcje i odniesienia: metaforyczne, symboliczne i kompozycyjne, abstrakcyjne i konkretne. Innym źródłem inspiracji, szczególnie dla mnie ważnym, jest twórczość Wacława Szpakowskiego [3], którego serie prac *Linie rytmiczne* [5], inspirowane były rytmem i powtarzalnością natury, jej cykliczną strukturą. Poprzez stworzenie własnego języka form i znaków, Szpakowski próbował odzwierciedlić zawiłą strukturę świata w zapisie graficznych, linearnych schematów. Próby reinterpretacji podjęłam we własnym projekcie twórczym.

Do powstania alternatywnych form labiryntu użyłam generatora internetowego [4], w wyniku czego powstało około 250 plików zapisanych do formatu pdf, z których ostatecznie, do realizacji, wybrałam tylko jeden cyfrowy zapis. Wszystkie inne propozycje również spełniały normy i były przygotowane w formie *Styl: Delta (komórki Triangular)*. Pliki pozostawiłam w moich zasobach w celu dalszej eksploracji.

MEANDER 1.0, detal, 2022, technologia SkribiArt – głowica KOLOR, beton architektoniczny, 220×100 cm

MEANDER 1.0, detal, 2022, SkribiArt technology – COLOR printer head, architectural concrete, 220×100 cm

Moje prace, przedstawione na wystawie *Implikacje. Cyfra i bryła*, prezentowanej w Muzeum Architektury we Wrocławiu, wykorzystują autorskie technologie firmy 3dArtech [6]. Technologie te umożliwiają tworzenie spektakularnych rozwiązań panelowych zarówno do wnętrz budynków, jak i w realizacjach zewnętrznych. Dzięki temu miałam sposobność przeprowadzenia doświadczeń, wykorzystując innowacyjne możliwości współpracującej ze mną firmy. Ostatecznie powstały cztery prace zrealizowane w druku 3D. Dwie największe realizacje przypominają – fakturą i formą – gobeliny. *MEANDER 1.0* i *MEANDER 2.0* wykonane są w formacie 220×100 cm. Za podobrazie posłużyła lekka pianka budowlana, zagruntowana w kolorze głębszej czerni, co stanowi kontrastowe tło pod zaprawę w czterech drukarskich kolorach (cyjanu, magenty, żółci, czerni) i dodatkowo dodanej – białej zaprawy. Efekt plastyczny powstał w rezultacie zadrukowania płaszczyzny głowicą KOLOR, podobnie jak w przypadku druku offsetowego. W tym wypadku użyto sporych rozmiarów, bo ok. 4–5 mm punktowo obok siebie położonych, nieforemnych kropel barwionego betonu architektonicznego. Wraz z oddalaniem się od prac, zauważa się, że kolory tworzą barwne gradienty, zadane w projekcie cyfrowym przygotowanym w programie Illustrator CC. Efekty 3D na płaszczyźnie dodatkowo tworzy światło, nasycając barwy i tworząc cienie. Wrażenie wizualne nasuwa skojarzenia z pracami malarskimi puentylistów, jednak tu do realizacji pracy nie posłużyła intuicja artystyczna, ale innowacyjna technologia wraz z zastosowaniem skomplikowanych parametrów programów, które zostały specjalnie dedykowane tej technologii. Kolejne dwie realizacje pracy *MEANDER*, w formacie 100×100 cm, to prace wykonane przy pomocy głowicy technologii szpachelki, dającej efekt płaskorzeźby, oraz technologii GAJA – która jest wypukłym reliefowym rysunkiem z betonu architektonicznego. I w tym wypadku za podobrazie do realizacji prac posłużyła pianka przemysłowa. Prace są lekkie, łatwe w transporcie i montażu, co daje możliwości wykorzystanie tej technologii przy wielkopłaszczyznowych realizacjach w architekturze.

Zastosowanie nowatorskich rozwiązań w mojej twórczości daje mi możliwość realizacji bardziej skomplikowanych i wysublimowanych pomysłów, które pozostawały jak do tej pory nierealizowalne w stosowanych przez mnie tradycyjnych technikach malarskich i rysunkowych oraz w klasycznych technologiach druku, jakie znałam i stosowałam. Stwierdzam, że zastosowana metoda daje szansę na realizację wielkopowierzchniowych i stosunkowo niskokosztowych projektów architektonicznych, wymaga przetestowania wytrzymałości na różnorodne warunki atmosferyczne i proces starzenia użytych materiałów. Skłania do kolejnych badań nad procesem realizacyjnym wybranej przeze mnie metody i umożliwia dialog z technologiem procesu nad rozwojem i użyciem szlachetnych materiałów przy następnych realizacjach artystycznych.

The use of innovative technological solutions enables the implementation of artistic works, affecting the form of the work that has so far been beyond the reach of visual artists. The considerations below describe my path in discovering new resources and the method of their implementation in my own artistic project.


Keywords: new technologies, 3D printing, digital art, contemporary art

MEANDER, 2022

— Monika Aleksandrowicz

Faculty of Sculpture and Art Mediation
The Eugeniusz Geppert Academy of Art and Design in Wrocław

m.aleksandrowicz@asp.wroc.pl

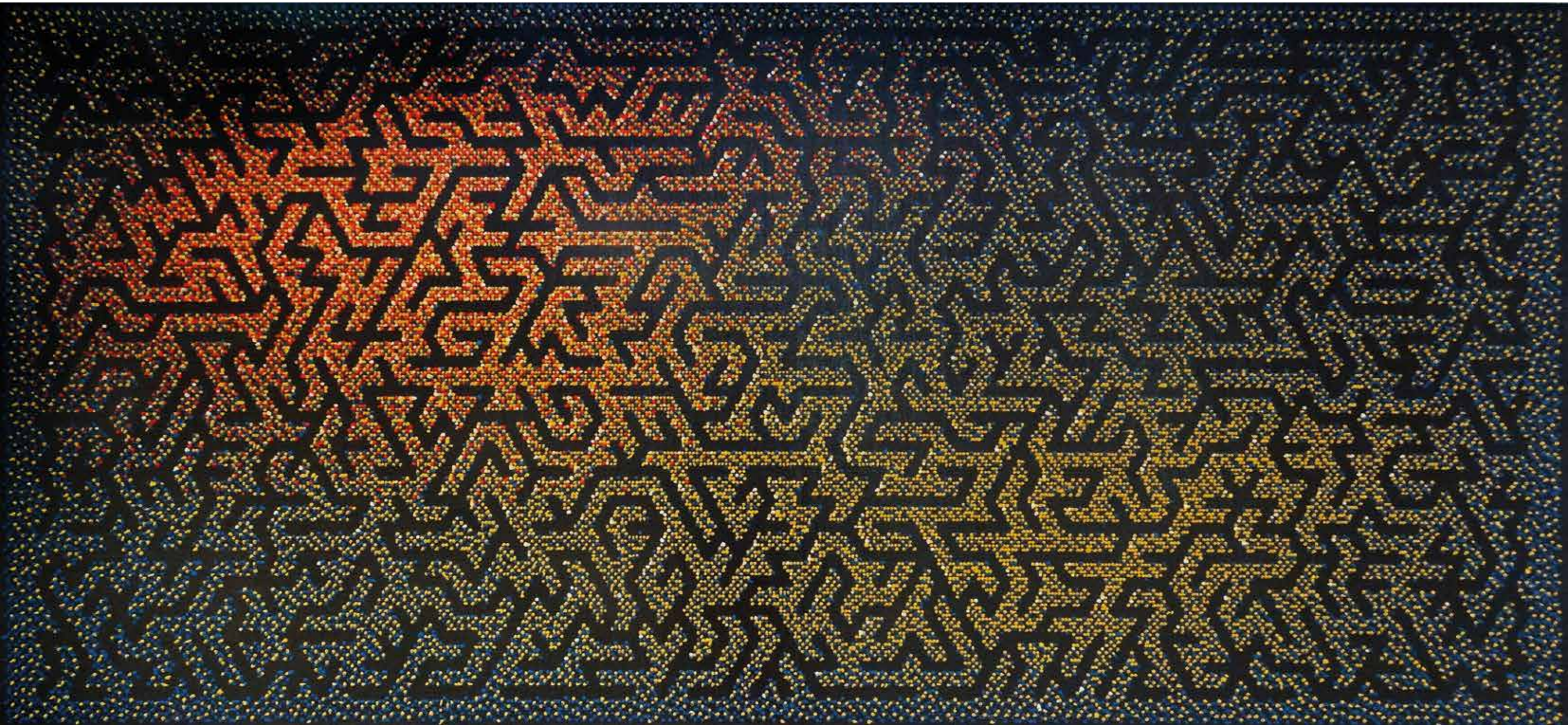
 <https://orcid.org/0000-0001-9450-1161>

The subject of visual works carried out as part of the *Interaction and Creation* project. *3D printing as a solution tool in visual arts – contexts* [2] was a labyrinth for me, which was finally crowned with the title *Meander*. It consists of a series of realizations made using four innovative printing technologies. The resulting objects go beyond the plane, but they are not a classic 3D printing implementation.

For the first time I reached for the labyrinth motif in 2010 during the 8th SURVIVAL Art Review in Wrocław [1]. The labyrinth as a parabola of the artist's path – from the idea to the realization of a personal vision of art. It has the dimension of an internally ordered, closed space. The labyrinth is a place where the goal is reached by trial and error. In the case of my projects, it served as a geometric pattern, seemingly repetitive, performing a decorative function, so often used in architecture, sculpture, ceramics and painting. The labyrinth is a motif deeply rooted in cultural semantics and is quite easily recognizable. Labyrinths can have various functions and references: metaphorical, symbolic and compositional, abstract and concrete. Another source of inspiration, particularly important to me, is the work of Wacław Szpakowski [3], whose series of works *Rhythmic lines* [5] were inspired by the rhythm and repetition of nature, its cyclical structure. By creating his own language of forms and signs, Szpakowski tried to reflect the intricate structure of the world in the notation of graphic, linear schemes. I attempted to reinterpret it in my own creative project.

To create alternative forms of the labyrinth, I used an online generator [4], which resulted in about 250 files saved in pdf format, of which I finally chose only one digital record for implementation. All other proposals also met the standards and were prepared in the form of *Style: Delta (Triangular cells)*. I left the files in my resources for further exploration.

My works, presented at the *Implications. Digit and solid* exhibition at the Museum of Architecture in Wrocław, use the proprietary technologies of 3dArtech [6]. These



MEANDER 1.0, 2022, technologia SkribiArt - głowica KOLOR, beton architektoniczny, 220×100 cm
MEANDER 1.0, 2022, SkribiArt technology - COLOR printer head, architectural concrete, 220×100 cm



MEANDER 2.0, 2022, technologia SkribiArt - głowica KOLOR, beton architektoniczny, 220×100 cm
MEANDER 2.0, 2022, SkribiArt technology - COLOR printer head, architectural concrete, 220×100 cm



MEANDER
fragment (2, -95°), 2022
technologia SkribiArt - głowica GAJA
beton architektoniczny, 100×100 cm

MEANDER
fragment (2, -95°), 2022
SkribiArt technology - GAJA printer head
architectural concrete, 100×100 cm



MEANDER
fragment (2), 2022
technologia SkribiArt - głowica SZPACHELKA
beton architektoniczny, 100×100 cm

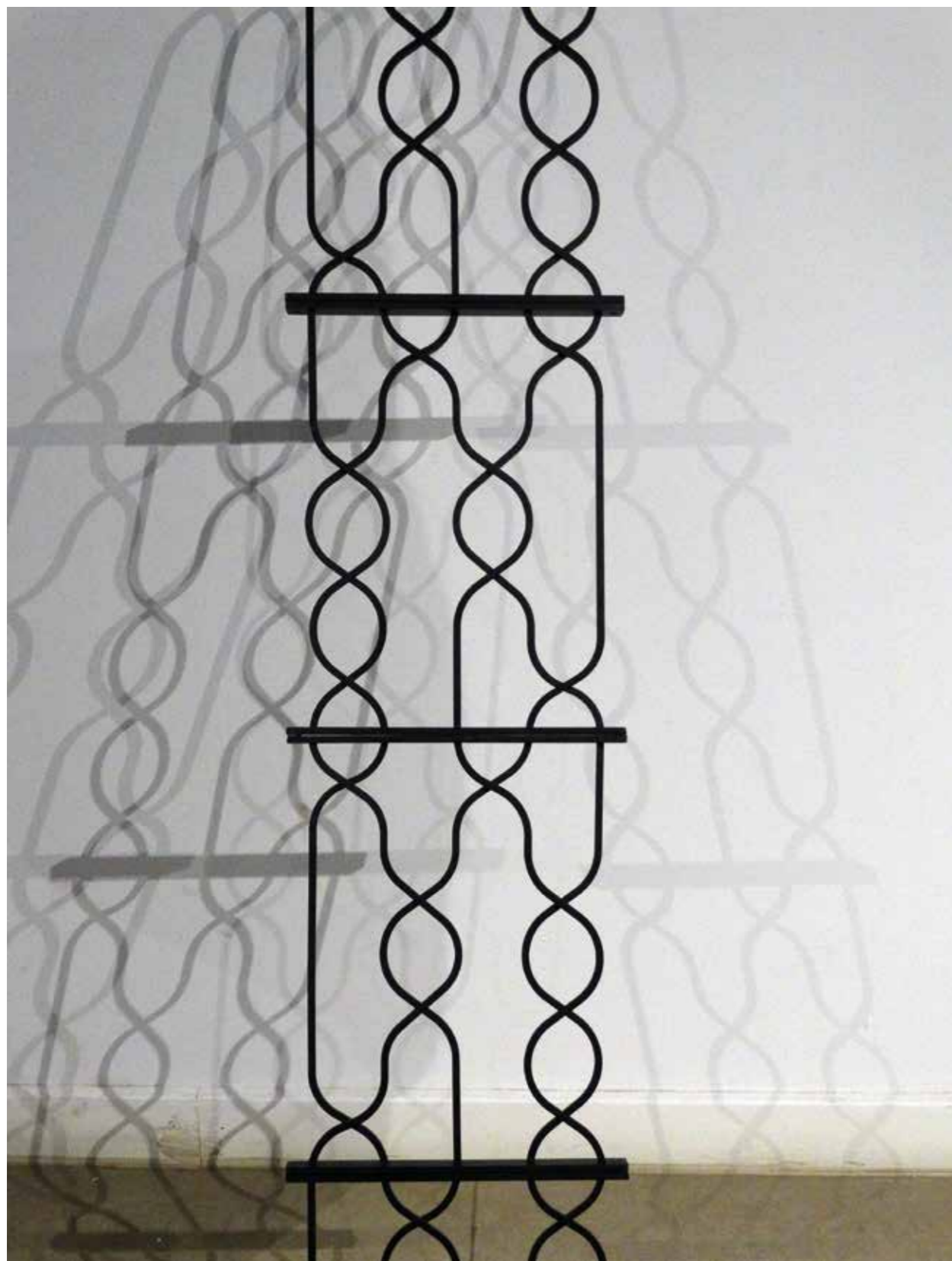
MEANDER
fragment (2), 2022
SkribiArt technology - SZPACHELKA printer head
architectural concrete, 100×100 cm

technologies enable the creation of spectacular panel solutions for both interiors and exteriors. Thanks to this, I had the opportunity to conduct experiments using the innovative capabilities of the company cooperating with me. In the end, four works based on 3D printing were created. The two largest projects resemble - in texture and form - tapestries. *MEANDER 1.0* and *MEANDER 2.0* are made in the 220×100 cm format. A light construction foam, primed in deep black, was used as a support, which is a contrasting background for mortar in four printing colours (cyan, magenta, yellow, black) and additionally added - white mortar. The plastic effect was created as a result of printing the plane with the COLOR head, as in the case of offset printing. In this case, large size, about 4-5 mm, pointwise, irregular drops of coloured architectural concrete were used. As you move away from the work, you notice that the colours create colourful gradients, given in the digital design prepared in Illustrator CC. 3D effects on the plane additionally creates light, saturating colours and creating shadows. The visual impression evokes associations with the painting works of the pointillists, but here the work was not done with artistic intuition, but with innovative technology with the use of complex parameters of programs that have been specially dedicated to this technology. The next two realizations of the MEANDER work, in the 100×100 cm format, are works made with the use of a spatula technology head, giving the effect of a bas-relief, and the GAJA technology - which is a convex relief drawing made of architectural concrete. And in this case, industrial foam was used as a support for the work. Ultimately, the works are light, easy to transport and assemble, which makes it possible to use this technology in large-scale architectural projects.

The use of innovative solutions in my work gives me the opportunity to implement more complex and sublime ideas that have so far been unrealistic in the traditional painting and drawing techniques I use and in the classic printing technologies that I have known and used so far. In conclusion, I can say that the method used gives an opportunity to implement large-scale and relatively low-cost architectural projects, but the resistance to weather conditions and the aging process of the materials used has not yet been tested. This opens the field for further research on the implementation process of the method I have chosen and enables dialogue with the process technologist on further development and use of noble materials in further artistic implementations.

Bibliografia Bibliography

- [1] <http://archiwum.survival.art.pl/labirynt/> (data dostępu/access: 25.06.2022).
- [2] <https://artmediation.art/index.php/international-conference-interaction-and-creation-3d-printing-as-a-tool-for-creative-solutions-in-visual-arts-contexts/> (data dostępu/access: 23.04.2022).
- [3] <https://culture.pl/pl/tworca/waclaw-szpakowski> (data dostępu/access: 24.06.2022).
- [4] <https://www.mazegenerator.net/> (data dostępu/access: 12.02.2022).
- [5] *Wacław Szpakowski 1883-1973. Linie rytmiczne*, red. E. Łubowicz, Wrocław 2017
- [6] <http://3dartech.com/> (data dostępu/access: 18.01.2022).



Warkocz, 2019, technologia CNC, stal
Braid, 2019, CNC technology, steel

Warkocz, 2019

— Magdalena Grzybowska

Wydział Rzeźby i Mediacji Sztuki
Akademia Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu

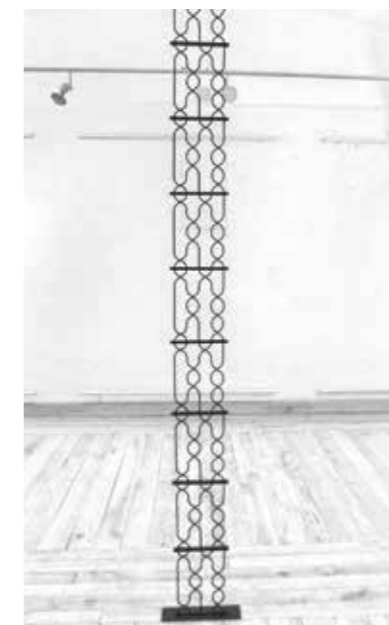
m.grzybowska@asp.wroc.pl

 <https://orcid.org/0000-0003-3059-8464>

Moja mama uczyła matematyki. Chciałam odnaleźć w matematyce coś, co by postać mojej mamy jakoś przywołało. Pierwszy obraz - mama robiąca na drutach. Obserwowałam to przez całe moje dzieciństwo - tworzenie magicznych splotów, łańcuchów, warkoczów. Wszystko to - jak się teraz okazuje - jest częścią świata matematyki, a konkretnie - topologii. Warkocz, splot - budzi tutaj dodatkowe wspomnienie-doznanie - wspomnienie dotyku ręki czeszącej moje włosy. Budzi odczucie obecności.

Praca bazuje na wzorze warkocza geometrycznego. Adekwatną do zrealizowania jej wydała mi się technologia cyfrowa, która bazuje na zasadach numerycznych, ponieważ przekształca formę artystyczną w zapis matematyczny. Każdy z elementów rysunku, stworzonego według wzoru warkocza geometrycznego, został zapisany w formie wektorowej grafiki cyfrowej, a następnie - po określeniu wszystkich parametrów - wycięty laserem z pięciomilimetrowej blachy. Bardzo ważnym aspektem było użycie koncepcji modułowości, multiplikacji poszczególnych elementów. Stworzyło to możliwość potencjalnie nieograniczonego rozbudowywania pracy w przestrzeni, co symbolicznie łączy się z ideą warkocza - czy tego topologicznego, czy też rzeczywistego - uplecionego z włosów.

Praca upubliczniona w ramach wystawy *Wystawa Wzorowa* (Galeria Entropia, 2019), wpisującej się w ogólnopolski rok matematyki






Warkocz, 2019, technologia CNC, stal
 Braid, 2019, CNC technology, steel

Braid, 2019

— Magdalena Grzybowska

Faculty of Sculpture and Art Mediation
 The Eugeniusz Geppert Academy of Art and Design in Wrocław

m.grzybowska@asp.wroc.pl

 <https://orcid.org/0000-0003-3059-8464>

My mother taught mathematics. I wanted to find something in mathematics that would somehow evoke my mum's character. The first image - my mum knitting. I watched this during all my childhood - creating magical weaves, chains, braids. All of this - as it turns out now - is part of the world of mathematics, specifically - topology. The braid, the weave - it evokes here an additional memory-sensation - the memory of the touch of a hand combing my hair. It evokes a sense of presence.

The work is based on the pattern of a geometric braid. Digital technology, which is based on numerical principles and in a way transforms the artistic form into a mathematical notation, seemed to me to be adequate for its realisation. Each of the elements of the drawing, created on the basis of the geometric braid, was written in the form of vector digital graphics and then - after all the parameters had been defined - cut out of a five-millimetre sheet with a laser. A very important aspect was the use of the concept of modularity, the multiplication of individual elements. This created the possibility of potentially unlimited expansion of the work in space, which is symbolically linked to the idea of a braid - whether topological or real - braided from hair.

Work made public as part of the exhibition,
 Wystawa Wzorowa / Exemplary Exhibition
 (Entropia Gallery, 2019)
 part of the national year of mathematics




— Katarzyna Gemborys, Łukasz Szatanek

Wydział Rzeźby i Mediacji Sztuki
Akademia Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu

k.gemborys@asp.wroc.pl

(K. Gemborys)  <https://orcid.org/0000-0001-8819-5540>

(Ł. Szatanek)  <https://orcid.org/0000-0001-5456-976X>

Praca reprezentuje spojrzenie na proces projektowy unikatowego dzieła, będącego połączeniem odmiennych materiałów oraz różnych postaw twórczych. Projektantka szkła, łącząca kobiecość z naturą, oraz architekt/historyk architektury eksperymentują wspólnie z nowoczesnymi technologiami. Rzeźba powstała z ręcznie formowanego szkła, łączonego z komputerowo generowanym wydrukiem 3D. Organiczna forma szkła styka się z geometryczną formą polimerową, a przejerność z chłodem ograniczenia. Tradycja i nowoczesność poprzez wspólną pracę widoczna jest w postawach i spojrzeniu obu twórców.



— Katarzyna Gemborys, Łukasz Szatanek

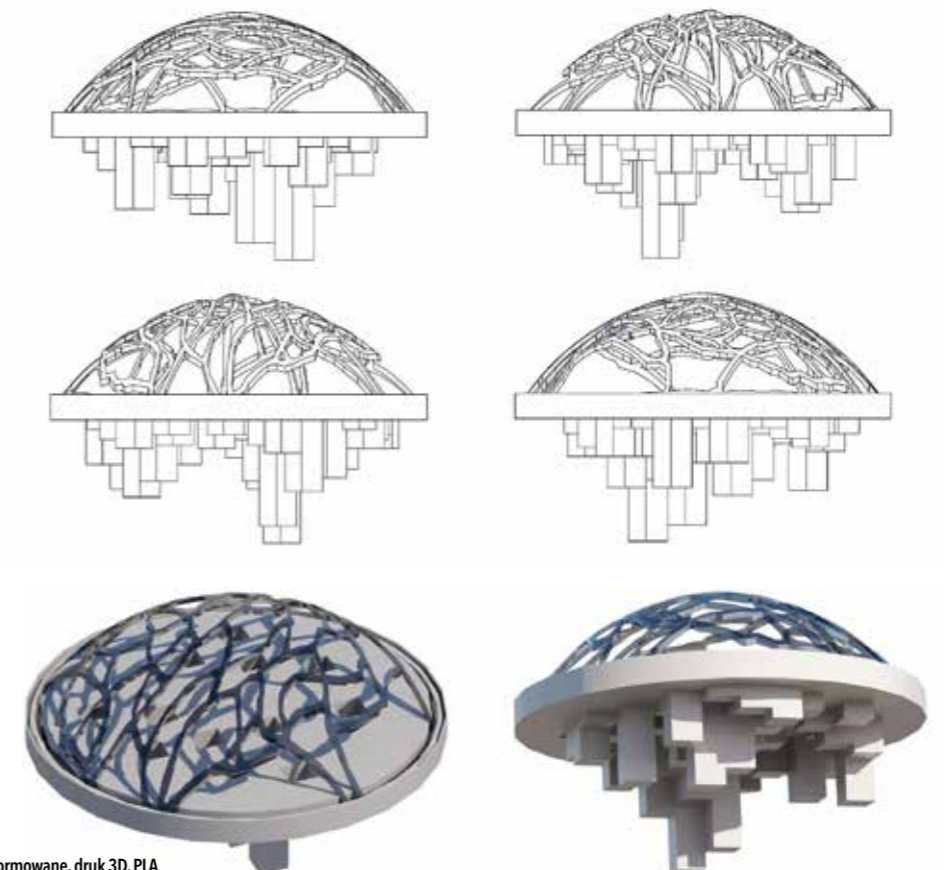
Faculty of Sculpture and Art Mediation
The Eugeniusz Geppert Academy of Art and Design in Wrocław

k.gemborys@asp.wroc.pl

(K. Gemborys)  <https://orcid.org/0000-0001-8819-5540>

(Ł. Szatanek)  <https://orcid.org/0000-0001-5456-976X>

The work represents a glimpse into the design process of a unique piece that is a blend of different materials and various creative attitudes. A glass designer, who combines femininity with nature, and an architect/architectural historian experiment together with modern technologies. The sculpture was created from hand-shaped glass combined with a computer-generated 3D print. The organic form of glass is met with a geometric polymer form and transparency with the coolness of restriction. Through working together, tradition and modernity can be seen in the attitudes and outlook of both artists.



Organometrie, 2022, szkło ręcznie formowane, druk 3D, PLA

Organometrie, 2022, hand-shaped glass, 3D print, PLA



Kijanka, 2021, 32×29×73 cm, PLA następnie odlew z brązu
Tadpole, 2021, 32×29×73 cm, PLA then bronze cast

Kijanka i kijanka mikro

— Michał Staszczak

Wydział Rzeźby i Mediacji Sztuki
Akademia Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu

m.staszczak@asp.wroc.pl

 <https://orcid.org/>

Zwykle zastajemy rzeźbę w rozmiarze, w jakim zaplanował ją autor. Czasem rozmiar zależy od upodobań artysty, czasem od miejsca, w którym obiekt ma funkcjonować. Celowe powiększanie codziennych przedmiotów i tworzenie ich gigantycznych odpowiedników nie jest wśród rzeźbiarzy zjawiskiem nowym. Pozwala zaburzyć zwyczajową percepcję „oswojonego” obiektu, odkryć go przed widzami na nowo i wywołać tzw. efekt „Wow”.

Przez lata tworzyłem swoje rzeźby pojedynczo, w przekonaniu, że w ten sposób zapewniam im unikatowość. Moim ulubionym materiałem rzeźbiarskim był i jest nadal lany metal. Kwestie technologiczne, związane z całym procesem i transformacją, natura tego materiału oraz jego tradycyjny charakter, są mi bardzo bliskie. Przy tworzeniu modeli moich rzeźb, pracuję metodą asamblażu. Wykorzystuję różne przedmioty, kształty, faktury, łączę je w woskowe obiekty i odlewam z metalu.

Trzy lata temu w moich działaniach rzeźbiarskich rozpocząłem przygodę z projektowaniem i drukiem 3D. Na pierwszy rzut oka, technologia skrajnie odmienna od dotychczasowej. Jak się jednak okazuje, metoda pracy, w której łączę zastane elementy (tutaj po zeskanowaniu), multiplikuję, a w razie potrzeby zmieniam, jest taka sama. Niektóre wydrukowane rzeźby pokrywam jedynie warstwą metalu. Jednak większość z nich, po ściągnięciu formy z wydruku, docelowo zostaje odlana z metalu.

Technologia 3D daje jednak dodatkową, fascynującą możliwość – tę samą pracę mogę wykonać w różnych rozmiarach. Kilkom kliknięciami mogę zdecydować, czy będzie wielkim obiektem przestrzennym, czy filigranową, niemal biżuteryjną rzeźbą. Prezentując na wystawie rzeźby w różnych rozmiarach, wymuszam interakcję między nimi. Zachodzi relacja, w wyniku której rozmiar zaczyna mieć znaczenie. Prace funkcjonują w kontraście do siebie, mimo że wyróżnia je tylko jedna cecha. Wywołują różne emocje i skojarzenia, inne szczegóły przyciągają uwagę. Widz zostaje zaskoczony, a jego percepcja ulega wyostreniu.

Rodzą się również różne pytania. Czy to ta sama rzeźba? Która z nich jest kopią, a która oryginałem? A może oryginałem jest plik STL lub OBJ, z którego zostały wydrukowane? Czy ich zwielokrotnienie umniejsza ich oryginalności? A może w realiach otaczającej nas masowej produkcji, o ich unikatowości stanowi pierwotna idea artysty, który je stworzył?

Z pewnością, możliwość relatywnie łatwego skalowania obiektu, daje rzeźbiarzowi dodatkowe narzędzie do wykorzystania w procesie twórczym, a wykorzystanie technologii 3D w procesie tworzenia obiektów rzeźbiarskich, pozwala na łączenie tradycji z najnowszymi osiągnięciami techniki.

Jednak w wielu przypadkach decyzja o wybraniu „tego najlepszego i właściwego” rozmiaru dla danego obiektu jest niemożliwa.



Kijanka mikro, 2021, 1.8×1.7×5.5 cm, SLA następnie odlew z brązu

Tadpole micro, 2021, 1.8×1.7×5.5 cm, SLA then bronze cast

Tadpole and Tadpole micro

— Michał Staszczak

Faculty of Sculpture and Art Mediation
The Eugeniusz Geppert Academy of Art and Design in Wrocław

m.staszczak@asp.wroc.pl

 <https://orcid.org/>

Usually we find a sculpture in a size planned by its author. The size sometimes depends on the artist's preferences, and sometimes on the place where the object is to function. Intentional enlargement of everyday objects and creating their gigantic equivalents is not a new phenomenon among sculptors. It allows to disrupt the usual perception of a „tamed” object, to discover it again in front of the viewer and to cause the so-called „Wow” effect.

Over the years I have created my sculptures one at a time, believing that by doing so I would ensure their uniqueness. My favourite sculptural material was and still is cast metal. The technological aspects of the whole process and transformation, the nature of this material and its traditional character are very close to my heart. When creating models for my sculptures, I work with the assemblage method. I use different objects, shapes and textures, combine them into wax objects and cast them in metal. Three years ago, in my sculpting endeavours, I embarked on an adventure with 3D design and printing. At first glance, the technology is extremely different from the one I have used so far. Nevertheless, as it turns out, the working method in which I combine found elements (here, after scanning) I multiply and if necessary change them, is the same. Some of the printed sculptures I only cover with a layer of metal. However, most of them are ultimately cast in metal after the mould has been pulled from the print.

However, the 3D technology offers an additional, fascinating possibility – I can make the same piece of work in different sizes. With a few clicks, I can decide whether it is going to be a large spatial object or a petite, almost jewellery-like sculpture.

By presenting sculptures in different sizes in the exhibition, I impose an interaction between them. As a result, a relationship takes place in which size begins to matter. The artworks operate in contrast to each other, even though they are distinguished by only one feature. They evoke different emotions and associations, different details attract attention. The viewer is taken aback and his perception is sharpened.

Various questions also arise. Is it the same sculpture? Which one is the copy and which one is the original? Or is the original the STL or OBJ file from which they were printed? Does their multiplication belittle their originality? And perhaps in the reality of the mass production that surrounds us, their uniqueness lies in the original idea of the artist who created them?

Certainly the possibility of relatively easy scaling of the object gives the sculptor an additional tool to use in the creative process. And the use of 3D technology in the process of creating sculptural objects allows combining tradition with the latest technological achievements. In many cases, however, the decision to choose „the best and right” size for a given object is impossible.



IV.

**NOTA BIOGRAFICZNA —
BIOGRAPHIC NOTE**

■ **dr hab., prof. ASP Adam Abel** Artysta multimedialny, absolwent Wydziału Ceramiki i Szkła wrocławskiej Akademii Sztuk Pięknych. Jego artystyczne działania mają charakter interdyscyplinarny. Jako twórca zajmuje się rzeźbą w tworzywie ceramicznym i sztuką cyfrowych mediów. Od 1997 związany jest z macierzystą uczelnią. W 2005/2006 objął stanowisko „invited professor” na Uniwersytecie Kyung Hee w Korei Południowej. W latach 2012–2020 kierował Katedrą Działań Interdyscyplinarnych w Ceramice i Szkle, a obecnie jest profesorem wrocławskiej ASP, w której prowadzi Pracownię Działań Intermedialnych w Ceramice. Aktualnie jest aktywnie zaangażowany w rozwój Eksperymentalnego Laboratorium Fabrykacji 3D na macierzystym wydziale oraz w opracowywanie metod twórczego wykorzystywania narzędzi cyfrowych i druku 3D. W ostatnich latach eksperymentuje z programowaniem własnej aplikacji komputerowej, wspomagającej projektowanie. Jego prace prezentowane były na ponad 100 krajowych i międzynarodowych wystawach, a tworzone przez niego animacje i krótkie formy filmowe zaistniały na licznych pokazach i festiwalach. Realizacje artysty są obecne w polskich i międzynarodowych kolekcjach sztuki współczesnej, między innymi: Ichon World Ceramic Center, Kyonggi Province, Korea Południowa; Centrum Sztuki WRO, Wrocław; Dolnośląskie Towarzystwo Zachęty Sztuk Pięknych, Museo Internazionale delle Ceramiche, Faenza, Włochy.

PhD (Fine Arts) Hab., University Professor Adam Abel Polish multimedia artist. He graduated in ceramic design from the Academy of Art and Design in Wrocław. His activities are interdisciplinary. As an artists he deals with ceramic sculpture and digital media art. He has been part of his alma mater since 1997. Between 2005 and 2006 he worked in South Korea where he held a position of Professor in the Faculty of Ceramics at the Kyng Hee University. He was the Head of the Department of Interdisciplinary Activities at the Faculty of Ceramics and Glass at the Academy of Art and Design in Wrocław in the years 2012-2020. Currently he is a professor at the Wrocław Academy and runs the Studio of Intermedia Activities in Ceramics. He's been actively involved in the development of the Experimental Laboratory of 3D Fabrication at his home faculty and in developing methods of creative use of digital tools and 3D printing in ceramics. In recent years, he has been experimenting with creating his own computer applications supporting the design process. His works have been presented at over 100 national and international exhibitions and his animations and short film forms have appeared at numerous shows and festivals. Adam Abel's works are present in national and international collections of contemporary art including: Ichon World Ceramic Center, Kyonggi Province, South Korea; The WRO Art Center, Poland; Zachęta Lower Silesia Fine Arts Association, Poland; Museo Internazionale delle Ceramiche, Faenza, Italy.

www.adamabel.com

■ **dr Monika Aleksandrowicz** Absolwentka Wydziału Malarstwa wrocławskiej Akademii Sztuk Pięknych (1999) oraz Filozofii na Wydziale Nauk Społecznych Uniwersytetu Wrocławskiego (2001). Obroniła doktorat z wyróżnieniem (2021). W dorobku artystycznym Moniki Aleksandrowicz znajduje się ponad 60 wystaw zbiorowych, sympozja, poświęcone sztuce konceptualnej, oraz ekspozycje indywidualne, które organizowane i prezentowane były w kraju i za granicą. Obecnie pełni funkcję kierownika Katedry Mediacji Sztuki na Wydziale Rzeźby i Mediacji Sztuki Akademii Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu.

PhD (Fine Arts) Monika Aleksandrowicz A graduate of the Faculty of Painting at The Eugeniusz Geppert Academy of Art and Design in Wrocław (1999) and Philosophy at the Faculty of Social Sciences of the University of Wrocław (2001). She defended her doctorate with honors (2021). The artistic output of Monika Aleksandrowicz includes over 60 collective exhibitions, symposia devoted to conceptual art and individual exhibitions that have been organized and presented in Poland and abroad. Currently, he is the head of the Department of Art Mediation at the Faculty of Sculpture and Art Mediation of The Eugeniusz Geppert Academy of Art and Design in Wrocław.

www.artebuena.com, www.artebuena.eu, www.semiografia.art

■ **dr Katarzyna Gemborys** Urodzona we Wrocławiu. Absolwentka wrocławskiej Akademii Sztuk Pięknych im. E. Gepperta Pracowni prof. Z. Horbowego oraz prof. M. Dajewskiej (2008). Uzyskała stopień doktora sztuk plastycznych w dyscyplinie sztuk projektowych – promotor prof. B. Zworska-Raziuk (2016). Do 2017 roku asystent w Pracowni Podstaw Projektowania na Wydziale Architektury Wnętrz i Wzornictwa pod kierunkiem prof. U. Smazy-Gralak, od 2017 roku asystent prof. D. Mileckiej w Pracowni Słowa i Obrazu, obecnie współprowadzi wspomnianą pracownię z as. L. Leń.

PhD (Fine Arts) Katarzyna Gemborys Born in Wrocław. A graduate of The Eugeniusz Geppert Academy of Fine Arts and Design in Wrocław, in the studio of prof. Z. Horbowy and prof. M. Dajewska (2008). She obtained a doctorate in arts in the discipline of design arts – supervisor prof. B. Zworska-Raziuk (2016). Until 2017, an assistant at the Design Fundamentals Studio at the Faculty of Interior Architecture and Design under the supervision of prof. U. Smazy-Gralak, from 2017 assistant prof. D. Milecka at the Word and Image Studio at the Department of Art Mediation, currently she co-runs the aforementioned studio with ac. L. Leń.

■ **dr hab., prof. ASP Magdalena Grzybowska** Urodzona w 1976 roku. Absolwentka Akademii Sztuk Pięknych we Wrocławiu. W roku 2000 obroniła dyplom na kierunku Rzeźba. W 2011 roku uzyskała stopień doktora, a w roku 2018 habilitację w dyscyplinie sztuki piękne. Od 2006 pracownik naukowo-dydaktyczny Akademii Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu – obecnie na Wydziale Rzeźby i Mediacji Sztuki. Praktykę twórczą poszerza o organizację wydarzeń artystycznych (plenery, wystawy, sympozja), prowadząc działalność kulturotwórczą na rzecz własnych projektów oraz środowiska artystycznego Wrocławia i okolic. W działalności twórczej odnosi się przede wszystkim do zjawisk przestrzennych, niekoniecznie zamykających się w pojęciu rzeźby. Do swoich prac włącza zarówno obiekty rzeźbiarskie, jak i film, fotografie, rysunek, zjawiska świetlne, sytuacje, gest, dźwięk i ruch. Wykorzystuje różnorodne materiały: stal, ceramikę, tkaniny, szkło, wodę. Realizuje otwarte projekty artystyczno-badawcze: *Rzeźba i fenomen sceny* oraz *Szkice do przestrzeni*. Interesuje ją aspekt nietwłałości, kategoria miejsca, relacje, zdarzenie wizualne (sytuacja).

PhD (Fine Arts) Hab., University Professor Magdalena Grzybowska Born in 1976, she graduated from The Eugeniusz Geppert Academy of Art and Design in Wrocław. In 2000, she completed her MFA degree in Sculpture. In 2011 she obtained her doctoral degree and in 2018 her habilitation in the discipline of fine arts. Since 2006, she has been a research and teaching employee at the Eugeniusz Geppert Academy of Fine Arts in Wrocław – currently at the Faculty of Sculpture and Art Mediation. She extends her creative practice to the organisation of artistic events (plein-air workshops, exhibitions, symposia) carrying out culture-creating activities for the benefit of her own projects and the artistic environment of Wrocław and its surroundings. In her creative activity, she refers primarily to spatial phenomena, not necessarily confined to the notion of sculpture. Her works include sculptural objects as well as film, photography, drawing, light phenomena, situations, gesture, sound and movement. She uses a variety of materials: steel, ceramics, textiles, glass and water. She is pursuing an open-ended art and research projects: ‘Sculpture and the phenomenon of the stage’ and ‘Sketches for the space’. She is interested in the aspect of impermanence, the category of place, relations, the visual event (situation).

■ **dr Piotr Idzi** Artysta wizualny, propagator rzeźby cyfrowej. Swoje poszukiwania prowadzi w środowisku wirtualnym. Jako artysta rozważa wpływ narzędzi cyfrowych na formy utrwalania i zapisu rzeczywistości. Stosuje techniki druku 3D, rzeczywistości poszerzonej (AR). W 2018 roku uzyskał tytuł naukowy doktora sztuk pięknych. Kieruje Pracownią Rzeźby Cyfrowej na Wydziale Rzeźby Akademii Sztuk Pięknych w Krakowie. Od 2010 zatrudniony również na Wydziale Architektury Politechniki Krakowskiej. Uczestniczył w wystawach indywidualnych i zbiorowych w kraju oraz za granicą.

PhD (Fine Arts) Piotr Idzi Visual artist, digital sculptor. Explores virtual environment. As an artist he considers various forms of capturing and storing reality related data. Piotr applies 3D printing techniques as well as augmented reality (AR). In 2018 obtained an academic degree (PhD of Arts). Presently leads the studio of digital sculpting at Academy of Fine Arts in Cracow. Since 2010 works as academic teacher at Architecture Department of Cracow Technical University. Attended numerous – individual and group exhibitions in Poland and abroad.

■ **dr hab. Małgorzata Kaczmarska** Artystka wizualna, badaczka i kuratorka. Ukończyła studia z wyróżnieniem na Wydziale Malarstwa Akademii Sztuk Pięknych w Krakowie. W pracy naukowo-badawczej zajmuje się procesem twórczym oraz kontekstem przestrzennym dzieła sztuki. Autorka licznych tekstów, dotyczących sztuki i wydarzeń artystycznych, opublikowanych w wydawnictwach branżowych, oraz artykułów naukowych w czasopiśmie recenzowanych. Prace jej autorstwa były wielokrotnie wyróżniane w międzynarodowych konkursach i kwalifikowane do prezentacji. Laureatka stypendium (Hiszpania, 1999) i rezydencji artystycznej (Indonezja, 2019). Swój dorobek twórczy eksponowała na licznych wystawach w kraju i za granicą (Chorwacja, Hiszpania, Indonezja, Korea Południowa, Słowacja, Ukraina, Wielka Brytania). Należy do ZPAP, artystycznej grupy 20minut oraz kolektywu SPACE Start, z którym zrealizowała kilka transdyscyplinarnych projektów wystawienniczych.

PhD (Fine Arts) Hab. Małgorzata Kaczmarska Visual artist, researcher and curator. She graduated with honors from the Faculty of Painting at the Academy of Fine Arts in Kraków. In her research work, she deals with the creative process and the spatial context of a work of art. Author of numerous texts on art and artistic events published in trade publications and scientific articles in peer-reviewed journals. Her works have been repeatedly awarded in international competitions and qualified for presentation. Winner of a scholarship (Spain, 1999) and artistic residency (Indonesia, 2019). She exhibited her creative achievements at numerous exhibitions in Poland and abroad (Croatia, Great Britain, Indonesia, Slovakia, South Korea, Spain, Ukraine). She is a member of Polish Artists' Association, artistic group 20minutes and the SPACE Start collective, with which she has carried out several transdisciplinary exhibition projects.

www.kaczmarska.pl

■ **Fania Kolaiti** Artystka interdyscyplinarna. Ukończyła studia licencjackie na Wydziale Sztuk Pięknych w Ioannina w Grecji w 2014 roku. W latach 2019-2022 była studentką studiów magisterskich na Akademii Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu, obecnie jest tam doktorantką. Projektowaniem użytkowym zaczęła interesować się w ciągu ostatnich dwóch lat. Pochodzi z miejsca, którego krajobraz i natura wpłynęły na jej inspiracje. Projektowanie na rzecz spraw cywilizacyjnych i środowiskowych zwróciło jej uwagę ze względu na zainteresowanie miejskimi sprawami społeczno-przestrzennymi i ekologią środowiska człowieka, w którym może zastosować swoje umiejętności w rozwiązywaniu problemów. Jej motywy artystyczne są skierowane na estetykę akceleracji z treścią komentującą egzystencję w dystopijnych czasach. Tworzy obiekty hybrydowe, które charakteryzują się płynnością pomiędzy wartościami artystycznymi i funkcjonalnymi. Jej inspiracją są przyszłe scenariusze posthumanizmu, bioetyki, form organicznych, antyciał i państwa poza kapitalizmem.

Fania Kolaiti Interdisciplinary artist. She graduated with her bachelor in Fine Arts at the School of Fine Arts in Ioannina, Greece in 2014. In the years 2019-2022 she was a student of master's study at the Eugeniusz Geppert Academy of Art and Design in Wrocław, Poland; she is currently a PhD student there. She started being interested in functional design during the last two years. She comes from a place where the landscape and nature has influenced her inspiration. Designing for civilizational & environmental affairs has captured her attention because of her interest in urban socio-spatial cases and human ecology where she can apply her skills in problem solving. Her artistic motives are framed by accelerationist aesthetics with a content that comments the existence during dystopian times. She creates hybrid objects which are characterized by fluidity between artistic and functional values. Her inspiration lays in future scenarios of post-humanism, bioethics, organic forms, anti-bodies and the state beyond capitalism.

■ **dr hab., prof. UAP Rafał Kotwis** Urodził się w 1978 roku w Złotowie. Od 2000 do 2005 roku studiował na Akademii Sztuk Pięknych w Poznaniu na Wydziale Malarstwa, Grafiki i Rzeźby. W latach 2002 - 2005 studiował na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza na wydziale Nauk Społecznych, kierunku Filozofia. W 2005 roku obronił dyplom z wyróżnieniem. W 2012 roku obronił stopień naukowy doktora sztuk plastycznych. W 2020 uzyskał stopień doktora habilitowanego w dziedzinie sztuki. Obecnie pracuje na stanowisku profesora uczelni. Kierownik I Pracowni Rzeźby i Otoczenia – Studyjnej oraz wykładowca przedmiotu Techniki komputerowe w rzeźbie. W latach 2016 – 2020 Prodziekan a obecnie Dziekan Wydziału Rzeźby Uniwersytetu Artystycznego im. Magdaleny Abakanowicz w Poznaniu. Zajmuje się szeroko rozumianą rzeźbą. Brał udział w wystawach indywidualnych i zbiorowych w kraju i zagranicą (Niemcy, Belgia, Słowacja, Czechy, Ukraina, Litwa, Tajlandia). Blizsze jest mu stanowisko producenta niż artysty. We wczesnych pracach podejmował problemy estetyzacji codzienności i wyrosłego na jej gruncie mechanizmu anestetyki jako swoistej dysfunkcji kulturowej czasów obecnych. Obecnie koncentruje się na problemie immersji sztuki. Inspiruje go wszechobecna dehumanizacja wynikająca ze zawłaszczania świata przez elektronikę, która zastępuje nam świat codzienny bądź staje się filtrem przez, który go doświadczamy. Dużą uwagę poświęca nowym technologiom związanych z grafiką i drukiem 3D. Bada nowe medium, testując możliwości jakie daje współczesnemu rzeźbiarzowi.

PhD (Fine Arts) Hab., University Professor Rafał Kotwis Born in 1978 in Złotów. In the years 2000-2005, he studied at the Academy of Fine Arts in Poznań at the Faculty of Painting, Graphic Art and Sculpture. From 2002 to 2005, he studied at the Adam Mickiewicz University in Poznań at the Faculty of Social Sciences, majoring in philosophy. In 2005, he graduated summa cum laude. In 2012, he obtained his Doctor of Fine Arts degree. In 2020, he obtained his higher doctorate in the field of art. He works as a university teacher, currently a UAP professor. He is the head of the 1 Study Sculpture and Environment Studio, and a lecturer teaching Computer Techniques in Sculpture. In the years 2016-2020, he was a deputy dean of the Faculty of Sculpture at the Magdalena Abakanowicz University of the Arts Poznan, and now holds the office of the dean of the deputy. He deals with sculpture in some wide sense of the term. He has participated in individual and collective exhibitions both in Poland and abroad (Germany, Belgium, Slovakia, the Czech Republic, Ukraine, Lithuania, Thailand). He considers himself rather a producer than an artist. In his early works he dealt with the issues related to aestheticisation of everyday life and the mechanism of anaesthetics that emerged on its grounds as a specific cultural dysfunction of the present time. Currently, he focuses on the problem of the immersion of art, being inspired in his work by ubiquitous dehumanisation resulting from the world being appropriated by electronics that replaces our everyday world or becomes a filter through which we experience it. He pays a lot of attention to new technologies related to graphic art and 3D printing. He explores the new medium, testing the possibilities offered by it to contemporary sculptors.

■ **Tenure-eligible lecturer Jordi Morell** Artysta wizualny i wykładowca w Katedrze Sztuk Wizualnych i Wzornictwa na Wydziale Sztuk Pięknych Uniwersytetu w Barcelonie. Jest członkiem skonsolidowanej grupy badawczej IMARTE oraz badaczem projektu *Printed Matter: Laboratory in Net*. Koordynuje „Art, Professió i Docència” – skonsolidowaną grupę badawczą zajmującą się innowacjami edukacyjnymi.

Tenure-eligible lecturer Jordi Morell Visual artist and Tenure-eligible lecturer (Serra-Hünter Fellow) at the Department of Visual Arts and Design of the Faculty of Fine Arts of the Universitat de Barcelona. He is member of the consolidated research group IMARTE, and researcher of the project *Printed Matter: Laboratory in Net*. He coordinates “Art, Professió i Docència” a consolidated research group of educational innovation.

■ **dr Marcin Noga** (SQ5RIQ), od 2001 roku pracuje na Wydziale Sztuki UTH Radom i prowadzi zajęcia dydaktyczne z zakresu grafiki komputerowej. W czerwcu 2019 roku przystąpił do obrony rozprawy doktorskiej *Transpozycja fali radiowej na obrazy cyfrowe*, którą Rada Wydziału Sztuki UTH Radom przyjęła z wyróżnieniem i nadała mu stopień doktora sztuki, promotor: prof. Aleksander J. Olszewski. Uczestnik ponad 40 wystaw zbiorowych i autor indywidualnych w Polsce i za granicą. Na jego twórczość składają się elementy z dziedzin interdyscyplinarnych, gdyż proces kreacji zawiera w sobie również naukowe podejście do tematu, którym jest wykorzystanie matematyki, fizyki i informatyki w zbieraniu i przetwarzaniu danych cyfrowych, potrzebnych do wygenerowania obrazu umożliwiającego wydruk 3D. Jego prace są ilustracją autorskiego procesu twórczego, stanowiącego przemianę energii fali elektromagnetycznej w formy organicznych struktur. W 2018 roku otrzymał wyróżnienie (nagroda fundowana) na 45. *Salonie Zimowym* w Mazowieckim Centrum Sztuki Współczesnej Elektrownia, Radom.

PhD (Fine Arts) Marcin Noga (SQ5RIQ), since 2001 he has been working at the Faculty of Art of UTH Radom and teaches computer graphics. In June 2019, he defended his doctoral dissertation *Radio wave transposition into digital images*, which the Council of the Faculty of Art of UTH Radom accepted with distinction and awarded him the degree of Doctor of Arts, supervisor: prof. Aleksander J. Olszewski. Participant of over 40 collective exhibitions and author of individual exhibitions in Poland and abroad. His work consists of elements from interdisciplinary fields, as the creation process also includes a scientific approach to the subject, which is the use of mathematics, physics and computer science in collecting and processing digital data needed to generate an image that enables 3D printing. His works illustrate the author's creative process, which is the transformation of electromagnetic wave energy into forms of organic structures. In 2018, he received a distinction (funded award) at the 45th Winter Salon at the Mazovian Center for Contemporary Art Elektrownia, Radom.

<http://www.marcinnoga75.blogspot.com>

■ **Profesor Aleksander Józef Olszewski** Urodził się 27.02.1944 w Radomiu. Studia w Państwowej Wyższej Szkole Sztuk Plastycznych w Łodzi. Dyplom z malarstwa u prof. Lecha Kunki i projektowania u prof. Aleksandry Pukaczewskiej w 1974 roku. Od 1975 roku pracuje na Uniwersytecie Technologiczno Humanistycznym w Radomiu. Jest profesorem zwyczajnym i twórcą Wydziału Sztuki oraz pierwszym jego dziekanem. Członek Rady Artystycznej ZG Związku Polskich Artystów Plastyków, twórca Grupy M-5 w Radomiu, organizator Akademickiej Galerii Sztuki „Rogatka” i „Pentagon”, założyciel i pierwszy redaktor Rocznika Wydziału Sztuki „Arteria”. Aktualnie prowadzi prywatną Galerię Laboratorium „System Art” w Radomiu. Uprawia malarstwo, grafikę, płaskorzeźbę. Tworzy w oparciu o własny system nazwany Morfoizmem. Pracuje cyklami odnoszącymi się do różnych zagadnień plastycznych. Swoją działalność artystyczną prezentował na ponad 50 wystawach indywidualnych i ponad 400 wystawach zbiorowych w kraju i poza jego granicami.

Associate Professor Aleksander Józef Olszewski Born on 27.02.1944 in Radom. He studied at the State Higher School of Fine Arts in Łódź. Diploma in painting under Professor Lech Kunki and design under Professor Aleksandra Pukaczewska in 1974. Since 1975, he has been working at the University of Technology and Humanities in Radom, obtaining the following degrees. He is a full professor and founder of the Faculty of Art and its first dean. Member of the Association of Polish Artists and Designers, member of the Association of International Graphic Triennials in Kraków. Member of the Association of the Artistic Movement “Świat” in Warsaw, co-organiser of Group M-5 in Radom, organiser of the Academic Art Gallery “Rogatka” and “Pentagon”, founder and editor of the Yearbook of the Faculty of Art “Arteria”. Currently he runs the Gallery Laboratory “System” in Radom. He practices painting, applied graphics, graphic arts, bas-relief. He creates on the basis of his own system called Morphism. He works in cycles referring to various artistic issues. He has presented his artistic activity at over 50 individual exhibitions and over 400 group exhibitions in Poland and abroad.

■ **PhD (Fine Arts) Cristina Pastó** Artystka i doktor sztuk pięknych. Wykłada grafikę na Wydziale Sztuk Pięknych Uniwersytetu w Barcelonie. Jej badania koncentrują się wokół grafiki, w szczególności akwaforty i litografii. Wykorzystuje druk cyfrowy i druk 3D, łącząc różne materiały i techniki. Jest członkiem skonsolidowanej grupy badawczej IMARTE oraz badaczem projektu „Printed Matter: Laboratory in Net.”

PhD (Fine Arts) Cristina Pastó Artist and PhD in Fine Arts. She lectures in Printmaking at the Faculty of Fine Arts, University of Barcelona. Her research revolves around printmaking, particularly etching and lithography. She incorporates digital printing and 3D print, fusing different materials and techniques. She is member of the consolidated research group IMARTE, and researcher of the project Printed Matter: Laboratory in Net.

■ **dr Jacek Romański** Doktor filozofii, absolwent UJ, zajmuje się współczesną myślą francuską. Autor artykułów m.in. *Niepewność istnienia. Michaela Foucaulta studia nad człowiekiem, Nieświadomość a barokowa wizja świata według Gillesa Deleuze’a, Anarchia nieprzedstawialnego. O materializmie u Diderota i De Sade’a*. Redaktor i współautor książki *Na przełomie - 25 lat seminarium filozoficznego*. Jego zainteresowania naukowe oscylują na pograniczu ontologii i estetyki. Obecnie pracuje nad przybliżeniem polskiemu czytelnikowi filozofii Michela Serresa. Członek Polartu.

PhD (Philosophy) Jacek Romański Doctor of Philosophy, graduate of the Jagiellonian University, deals with contemporary French thought. Author of articles such as: “Uncertainty of Existence. Michael Foucault’s Studies on Man,” “Unconsciousness and the Baroque Vision of the World According to Gilles Deleuze,” “The Anarchy of the Unrepresentable. On Materialism in Diderot and De Sade.” Editor and co-author of the book “At the Breakthrough - 25 Years of the Philosophy Seminar.” His scientific interests oscillate between ontology and aesthetics. Currently working on bringing the philosophy of Michel Serres closer to the Polish reader. Member of Polart.

■ **Profesor Thomas Schmidt** zdobył licencjat na Loyola University Chicago w 2004 roku, certyfikat podyplomowy w The School of the Art Institute of Chicago w 2006 roku oraz tytuł magistra (Master of Arts) w New York State College of Ceramics na Alfred University w 2009 roku. Następnie przez cztery lata uczył w programie Alfred/CAFA Ceramic Design for Industry w China Central Academy of Fine Arts w Pekinie. W 2012 roku, wraz ze współpracownikiem Jeffreyem Millerem, założył zespół projektowy *Recycled China*, którego prace wykorzystują odpady przemysłowe w Chinach do tworzenia płytek architektonicznych i obiektów rzeźbiarskich. Jego wspólne i solowe prace zostały nabyte do licznych kolekcji, w tym The Daum Museum of Contemporary Art w Sedalii, w stanie Missouri, The International Museum of Ceramics w Faenza, we Włoszech oraz Muzeum Wiktorii i Alberta w Londynie. W 2021 roku Schmidt otrzymał Brązową Nagrodę na Międzynarodowym Konkursie Ceramicznym w Mino, w Japonii za *Notebook Series*, w której odtwarza strony notatnika w odlewach porcelanowych i ceramicznych kalkomanii. Schmidt obecnie pełni funkcję adiunkta Interdyscyplinarnej Pracowni 3D na Uniwersytecie Północnej Karoliny w Charlotte. W ramach tej funkcji pomógł stworzyć na Wydziale Sztuki Laboratorium Cyfrowej Fabrykacji wraz z odpowiednim programem nauczania, który integruje narzędzia cyfrowe z szeregiem tradycyjnych mediów.

Associate Professor Thomas Schmidt received his BA at Loyola University Chicago in 2004, Post-Baccalaureate Certificate at The School of the Art Institute of Chicago in 2006, and MFA at the New York State College of Ceramics at Alfred University in 2009. Thereafter, he taught for four years at the Alfred/CAFA Ceramic Design for Industry program at the China Central Academy of Fine Arts in Beijing. In 2012 he and collaborator Jeffrey Miller co-founded the design team *Recycled China*, whose work uses industrial waste within China to create architectural tile and sculptural objects. His collaborative and solo work has been acquired by numerous collections including The Daum Museum of Contemporary Art in Sedalia, Missouri, The International Museum of Ceramics in Faenza, Italy, and the Victoria and Albert Museum in London. In 2021, Schmidt received the Bronze Prize at the International Ceramics Competition in Mino, Japan for his “*Notebook Series*” in which he recreates notebook pages in cast porcelain and ceramic decals. Schmidt currently serves as Associate Professor of Interdisciplinary 3D Studio at the University of North Carolina at Charlotte. In this role he helped to establish the Art Department’s Digital Fabrication Lab along with corresponding curriculum which integrates digital tools with a range of traditional media.

www.thomasschmidt.org

www.instagram.com/tomschmidtstudio

■ **dr hab., prof ASP Michał Staszczak** (ur. 1979) – absolwent rzeźby Akademii Sztuk Pięknych im. E. Gepperta we Wrocławiu. Dyplom w 2005 roku w Pracowni prof. Leona Podsiadłego, aneks z małej formy rzeźbiarskiej w Pracowni prof. Jacka Dworskiego. Od 2006 roku zatrudniony w macierzystej uczelni, gdzie aktualnie prowadzi Pracownię Odlewnictwa Artystycznego. W 2019 roku uzyskał tytuł doktora habilitowanego. W latach 2016-2020 kierownik Katedry Technik Rzeźbiarskich w ASP Wrocław. Od 2020 Prorektor ds. Współpracy z Zagranicą i Promocji ASP Wrocław. Założyciel i współorganizator Festiwalu Wysokich Temperatur. Prowadzi warsztaty i pokazy odlewnicze, buduje plenerowe piece do topienia brązu, aluminium oraz żeliwa. Tworzy asamblażowe rzeźby, płaskorzeźby i instalacje, które odlewa z metalu. W procesie twórczym wykorzystuje również technologię projektowania i druku 3D. Bierze udział w licznych wystawach w kraju i za granicą.

PhD (Fine Arts) Hab., University Professor Michał Staszczak (born 1979) – a graduate of sculpture at the Eugeniusz Geppert Academy of Art and Design in Wrocław (Poland). Diploma in 2005 in the studio of prof. Leon Podsiadły, an annex from a small sculptural form in the studio of prof. Jacek Dworski. Since 2006, he has been employed at his alma mater, where he currently runs a foundry studio. In 2019, he obtained the title of associate professor. In 2016-2020, head of the Department of Sculpting Techniques at the Academy of Art and Design in Wrocław. From 2020, Vice-Rector for International Cooperation and Promotion of the Academy of Art and Design in Wrocław. Founder and co-organizer of the Festival of High Temperatures. He conducts workshops and foundry demonstrations, builds outdoor furnaces for melting bronze, aluminum and cast iron. He creates assemblage sculptures, bas-reliefs and installations which are cast from metal. In the creative process, he also uses 3D design and printing technology. He takes part in numerous exhibitions in Poland and abroad.

www.michalstaszczak.pl

■ **dr inż. arch. Łukasz Szatanek** jest wykładowcą na kierunku architektura wnętrz w Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa. Doktorat obronił na Politechnice Śląskiej (2013). Jego zainteresowania naukowe wiążą się z historią architektury i badaniami architektonicznymi. Oprócz tego, prowadzi własną Pracownię Architektoniczną. W swojej działalności dużą część czasu poświęca obiektom zabytkowym, w tym sakralnym. Prowadzi także różne działania na polu nowych technologii (druk 3D, wirtualna rzeczywistość). Z zamiłowaniem fotografuje i majsterkuje.

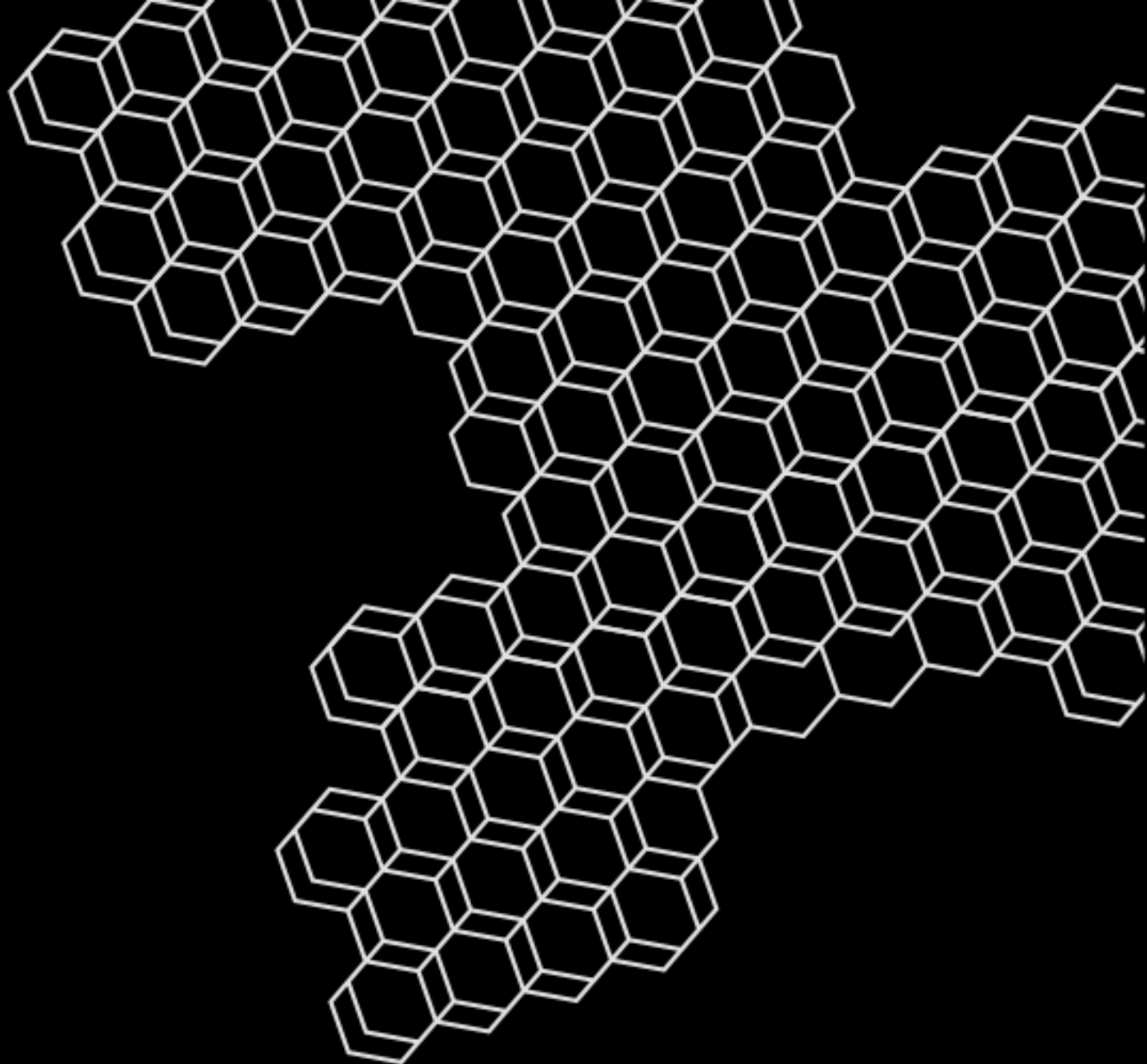
D. Sc. Eng. Arch. Łukasz Szatanek is a lecturer in the field of interior design at the Angelus Silesius Academy of Applied Sciences. He defended his doctorate in 2013 at the Silesian University of Technology. His scientific interests are related to the history of architecture and architectural research. In addition, he runs his own architectural studio. In his activity, he devotes a large part of his time to historic buildings, including sacred ones. It also conducts various activities in the field of new technologies (3D printing, virtual reality). He is passionate about photography and DIY.

■ **Professora agregada (SHP) Àngels Viladomiu** Artystka i doktor sztuk pięknych. Profesor nadzwyczajna Wydziału Sztuk Pięknych i dyrektor oficjalnego programu studiów magisterskich PRODART na Uniwersytecie w Barcelonie. Jej badania eksplorują związki między sztuką, krajobrazem i botaniką poprzez interdyscyplinarne projekty z eksperymentalnym podejściem obejmującym technologie 3D. Opublikowała kilka artykułów na temat sztuki, ekologii i zmian klimatycznych. Główna badaczka w projekcie I+D „Printed Matter 3: Net Laboratory” (2019-2022).

PhD (Fine Arts), Associate Professor Àngels Viladomiu Artist and Doctor of Fine Arts. Associate Professor of the Faculty of Fine Arts and Director of the Official Master Degree PRODART, University of Barcelona. Her research explores the connections between art, landscape and botany through interdisciplinary projects with an experimental approach incorporates 3D technologies. She has published several articles on art, ecology and climate change. Main researcher of the I+D Research Project “Printed Matter 3: Net Laboratory” (2019-2022).

Niniejsza publikacja zwięźcza długi proces badań realizowanych w ramach projektu *Interakcja i Kreacja* - jednego z zadań spełniających statutowe założenia Katedry Mediacji Sztuki Wydziału Rzeźby i Mediacji Sztuki Akademii Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu. Działania obejmowały wiele wydarzeń, m.in. przygotowano międzynarodową wystawę *Implikacje. Cyfra i bryła*. Prezentowana była w Muzeum Architektury we Wrocławiu, od 30 czerwca do 4 września 2022 r. Podczas wystawy pokazywane były prace wielu artystek i artystów, badaczek i badaczy zajmujących się technologią druku 3D z perspektywy interdyscyplinarnej. Prace i dokonania części z nich można przeanalizować w tekstach zawartych w tej monografii. Ponadto, 26 kwietnia 2022 r. zorganizowano Międzynarodową konferencję *Druk 3D jako narzędzie kreatywnych rozwiązań w sztukach wizualnych - konteksty*. W wydarzeniu brało udział liczne grono prelegentów z Polski, Hiszpanii, USA, Brazylii oraz Grecji, których twórczość i praca badawcza eksplorują zagadnienia dotyczące nowych technologii, ze szczególnym uwzględnieniem druku 3D.

This publication is the culmination of a long process of research carried out as part of the *Interaction and Creation* project - one of the tasks that meets the statutory assumptions of the Department of Art Mediation of the Faculty of Sculpture and Art Mediation of the Eugeniusz Geppert Academy of Art and Design in Wrocław. The activities included many events, e.g. the international exhibition *Implications. Digit and solid*. It was presented at the Museum of Architecture in Wrocław from June 30 to September 4, 2022. During the exhibition, the works of many artists and researchers dealing with 3D printing technology from an interdisciplinary perspective were shown. The works and achievements of some of them can be analyzed in the texts contained in this monograph. In addition, on April 26, 2022, the International Conference *3D printing as a tool for creative solutions in visual arts - contexts* was organized. The event was attended by a large group of speakers from Poland, Spain, the USA, Brazil and Greece, whose work and research explore issues related to new technologies, with particular emphasis on 3D printing.



AKADEMIA SZTUK PIĘKNYCH
IM. EUGENIUSZA GEPPERTA
WE WROCŁAWIU



Mediacja Sztuki