Maria Bąk
Akademia Sztuk Pięknych we Wrocławiu

Absolwentka wzornictwa na Akademii Sztuki w Szczecinie oraz sztuki i wzornictwa ceramiki na ASP we Wrocławiu. Biegle posługuje się szerokim wachlarzem technik wytwarzania ceramiki – od tradycyjnego toczenia na kole po druk 3D. W swoich realizacjach śmiało integruje te metody, eksperymentuje i opracowuje nieoczywiste strategie projektowe, pokazując, że rzemiosło może harmonijnie współistnieć z nowymi technologiami. Obecnie pogłębia swoje badania w szkole doktorskiej na ASP we Wrocławiu.

2 Każdy sam ostrzy swoje ołówki. Własne algorytmy w druku 3D

druk 3D
case study
technologia
algorytmy
współczesne rzemiosło
narzędzia projektowe

Uniwersalne aplikacje zdemokratyzowały design. Każdy korzysta z szybkich i prostych ustawień fabrycznych. Odpowiedź na tę standaryzację to powrót do fundamentalnej zasady rzemiosła i samodzielne dostosowywanie rozwiązań oraz narzędzi. Dziś jednym z takich narzędzi jest oprogramowanie.

https://doi.org/10.52652/fxyz.28.26.2 →

Aplikacje są intuicyjne, sieć pełna tutoriali, a wielu uwierzyło, że bez wykształcenia, z marszu, od zaraz może być projektantami (szczególnie gdy wszystko musi być szybko i na wczoraj). Adolf Loos twierdził, że każdy powinien być swoim własnym dekoratorem i decydować o wystroju swoich czterech ścian[1]. Jednak nie każdy musi projektować przestrzenie wspólne, logotypy czy reklamy, które krzyczą do nas z przystanku, billboardu, witryny i opakowania. Jednym słowem, wszechobecne oprogramowanie zapewniło dostępność do projektowania, ale też narzuciło zauważalną powtarzalność oraz schematyczność. Gotowe interfejsy niepostrzeżenie formatują proces twórczy poprzez faworyzowanie funkcji domyślnych i najszybszych rozwiązań. Projektant zaczyna myśleć logiką dostępnych komend, zamiast skupiać się na autorskiej wizji. W efekcie wyszparowane (wycięte z tła) parówki zaczynają lewitować we wszystkich reklamach marketów spożywczych. Czy zostawienie tła i cienia pod produktem jest już zbrodnią? Niby nie, ale tak jest najprościej, tak się przyjęło, tak jest bezpiecznie, no i każdy tak robi. Tworzenie własnych cyfrowych rozwiązań to dzisiejszy sposób na bycie innym. Rzadko służy ono oszczędzeniu czasu. Wręcz wymaga go niewspółmiernie więcej, jednak z perspektywy świadomego twórcy jest to inwestycja całkowicie opłacalna. Każdy software, poprzez swoją budowę, daje tylko ograniczony zakres

możliwości. Zdarza się, że patrząc na konkretne realizacje, można z łatwością odgadnąć oprogramowanie użyte do ich zaprojektowania, na przykład formy generowane w Blenderze noszą znamiona modelowania poligonami (siatką wielokątów), podczas gdy obiekty z Inventora mają cechy sztywnego modelowania bryłowego. Powyższa obserwacja nie stanowi krytyki tych narzędzi, których potencjał technologiczny jest niezaprzeczalny. Podkreśla ona jedynie, że działają w charakterystycznym dla siebie stylu. Jednym ze sposobów radzenia sobie z tym problemem jest przenoszenie prac pomiędzy różnymi środowiskami i opracowywanie poszczególnych elementów oddzielnie. Daje to możliwość korzystania z wielu metod jednocześnie. Jednak przy symultanicznym użytkowaniu kilku programów łatwo można się pogubić w kolejnych wersjach projektu, trudniej cofnąć zmiany, a koszt licencji staje się realną barierą. Alternatywą jest wypracowanie autorskich metod pracy oraz wyjście poza zamkniętą architekturę gotowych aplikacji poprzez programowanie czy pisanie własnych wtyczek. Najlepiej, gdy praca przebiega przy możliwie małej ilości narzędzi, za to precyzyjnie odpowiadających potrzebom projektanta. Zapewnia to skupienie, higienę pracy oraz redukuje czas błądzenia i niepewności.

W tym artykule przedstawię własne poszukiwania unikatowych rozwiązań w technologii druku 3D, kiedy odrzucenie standardowych programów do rozkroju brył (slicer) na rzecz autorskiego generowania ścieżek (G-code) przywracało poczucie pełnej decyzyjności i sprawczości. Przywołam także przykłady innych twórców, którzy stosują niestandardowe podejście w swoich praktykach projektowych, przestają walczyć z ograniczeniami i koncentrują się na kreacji.

Wprowadzenie do technologii druku 3D

Technologia fused deposition modeling (FDM) jest powszechnie wykorzystywana do szybkiego prototypowania i tworzenia modeli z tworzyw termoplastycznych, natomiast znacznie mniej znany jest druk metodą liquid deposition modeling (LDM). To dwa zupełnie różne światy wytwarzania addytywnego. Przede wszystkim praca z masami plastycznymi takimi jak porcelana czy kamionka (druk LDM) wymaga późniejszego spiekania oraz szkliwienia. Obiekty nabierają ciężaru, barwy oraz połyskliwości charakterystycznej dla tradycyjnej ceramiki. Ten proces wymaga pełnej świadomości materiału i jego obróbki, począwszy od odpowiedniego uplastycznienia masy, na prawidłowym suszeniu oraz wypale skończywszy. Podpory są rzadko wykorzystywane w druku masami plastycznymi, ponieważ z łatwością spajają się z resztą projektu. Kształty możliwe do uzyskania są zatem mocno ograniczone działaniem grawitacji, a im więcej warstw zostaje nałożonych, tym większy ciężar muszą utrzymać poprzednie sekwencje wciąż miękkiego tworzywa.

Mając wieloletnie doświadczenie w projektowaniu i wytwarzaniu ceramiki naczyniowej, zaczęłam się przyglądać osobom zawodowo zajmującym się drukiem 3D masami ceramicznymi. Rozumiałam, gdzie leżą ograniczenia materii, a gdzie pojawia się luka w możliwościach technologicznych. Analiza współczesnych realizacji ukazuje, że większość obiektów charakteryzuje się płaskimi podstawami, uciętymi krawędziami górnymi oraz schematycznym podziałem na równe, horyzontalne warstwy. Stan ten nie wynika jednak z ograniczeń powszechnie stosowanych drukarek trzyosiowych. Urządzenia te są mechanicznie zdolne do płynnego, jednoczesnego przemieszczania się we wszystkich trzech osiach (X, Y, Z).

Między projektantem a maszyną – autorska ścieżka praktyki projektowej

Dominacja płaskich warstw jest bezpośrednim rezultatem stosowania klasycznych algorytmów oprogramowania do rozkroju brył. Są one przeznaczone dla ceramików, hobbystów, osób niekoniecznie chcących wchodzić w świat matematycznych algorytmów i zależności. Rozpoznanie tej luki technologicznej oraz wykazanie, że standardowa maszyna może prowadzić ekstruzję niehoryzontalnie, stanowi główny obszar moich działań projektowych. Moment odejścia od gotowych rozwiązań i rozpoczęcie pisania własnych skryptów były przełomem w mojej pracy badawczej.

Najczęściej korzystam z wizualnego języka projektowania dostępnego w środowisku Grasshopper[2]. Nie wymaga to dużego doświadczenia informatycznego w pisaniu skryptów tekstowych. Komendy można przywołać z poziomu bloków lub ikon, a wizualna reprezentacja poleceń ułatwia orientację w obrębie generowanego modelu.

Kluczową zaletą samodzielnego programowania w druku 3D jest panowanie nad każdym momentem procesu. Możliwe stają się dostosowanie ilości masy dosłownie w każdym punkcie i każdej sekundzie, zróżnicowanie odległości pomiędzy kolejnymi krokami wydruku, dobranie prędkości posuwu maszyny, skoordynowanie ilości masy względem miejscowej wysokości warstwy i wiele innych.

Zaprojektowanie nie tylko samego kształtu obiektu, ale również sposobu jego fabrykacji daje wiele funkcjonalnych zalet. Takie planowanie podkreśla oraz wzmacnia granice i krawędzie dzieła. Możliwość wiernego oddania geometrii całego obiektu umożliwia wyznaczenie płaszczyzny dolnej i górnej, a następnie podzielenie przestrzeni między nimi na określoną ilość warstw. Przy pochyłych lub falistych zwieńczeniach bryły eliminuje to schodkowe ułożenie wałeczków występujące w miejscach przerwania ścieżki i podróży do następnego punktu. Model może być wykonany jedną długą, spiralną linią bez przerywania rytmu podawania masy.

Już na tym etapie, przy pracy nad poprawą efektywności wydruku, można zaobserwować różnorodne walory wizualne. Pojawia się gra świateł i cieni, złudzenia optyczne, a linie zaczynają prowadzić wzrok po powierzchni obiektu. Skupianie się na strukturze powierzchni daje pole do popisu wyobraźni i porywa w podróż pomiędzy krawędziami całej formy (il. 1). Wydrukowane testowe cylindry wznoszą się strzeliście ku górze, uginają i kołyszą.

Il. 1. Porcelanowe prace ceramiczne ukazujące różne możliwości podziału bryły na niehoryzontalne warstwy, proj. Maria Bąk, 2023; fot. Maria Bąk

Druk 3D jako droga

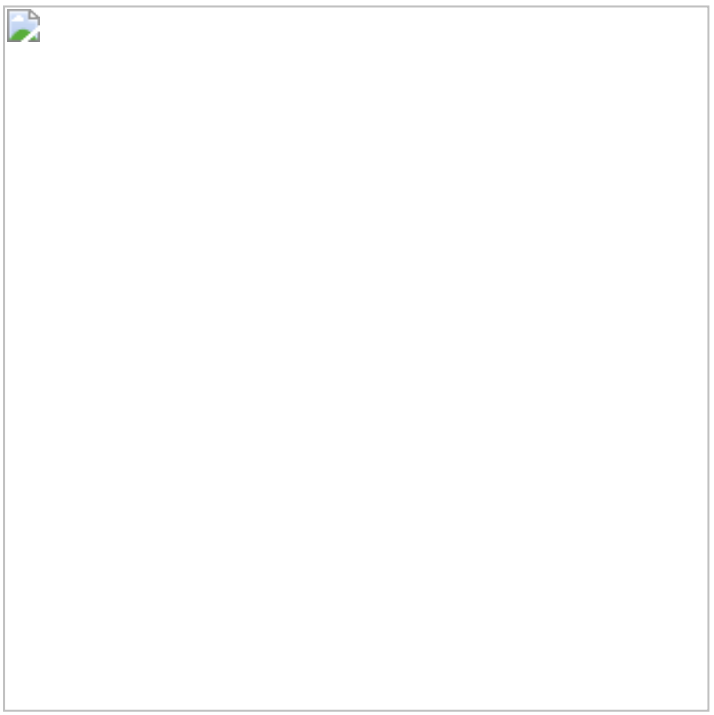
Powszechnie przyjęte definicje opisują druk 3D jako proces stopniowego nakładania materiału warstwa na warstwę[3]. Początkowo moje realizacje również opierały się na tym klasycznym, horyzontalnym schemacie, jednakże dogłębna analiza procesu doprowadziła mnie do redefinicji tej metody. Obecnie nie traktuję wydruku jako zbioru odseparowanych warstw, lecz projektuję go jako jedną, ciągłą drogę. Drogę, która ma swój początek i koniec. A wszystko to, co się na niej wydarza, jest ograniczone jedynie wyobraźnią. Niehoryzontalne prowadzenie ścieżki wykorzystuję nie tylko jako konieczny element konstrukcyjny, ale także jako sposób na budowanie struktury całej ściany obiektu. Ścieżki nakładają się na siebie, przeplatają ze sobą, zmieniają kierunki, tworzą reliefy. Nadaje to obiektom rzeźbiarski i unikatowy charakter.

Korzystam z szerokich dysz i komunikatów wizualnych pozostawianych przez zastosowane narzędzie, a inspiracji do ornamentów chętnie poszukuję w tradycyjnych, rzemieślniczych wzorach. Samo nakładanie na siebie glinianych wałeczków nie jest przecież czymś nowym i w ceramice było stosowane na długo przed wynalezieniem koła garncarskiego. Liniowe struktury występują także w plecionkarstwie, gdzie wiklinowe witki płynnie przeplatają się ze sobą. Podziały i segmenty stosowane w koszach stanowią dla mnie punkt wyjścia w budowaniu obiektów ceramicznych. W obu tych

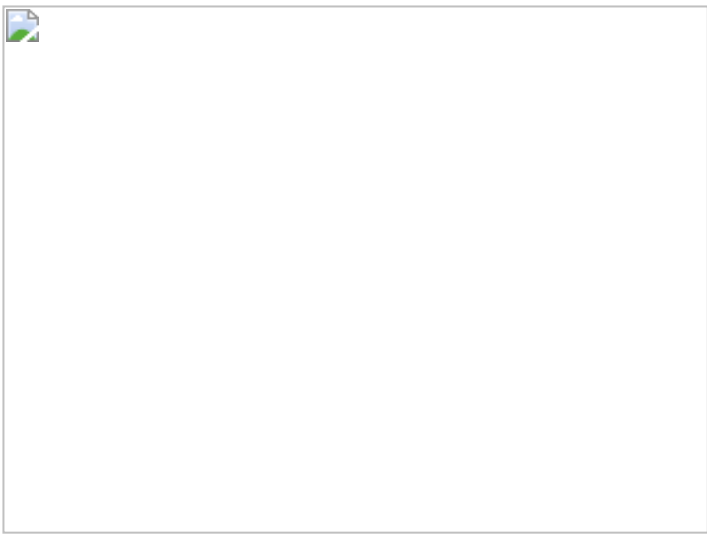
dziedzinach nadają one formom sztywność i wytrzymałość konstrukcyjną. Temat wątku i osnowy pojawia się również w tkactwie, charakteryzującym się bogactwem i różnorodnością splotów. Nie przekładam tego w sposób dosłowny na masy ceramiczne, ale traktuję jako geometryczną bazę do cyfrowej reinterpretacji (il. 2, il. 3).

Oczywiście limitami, z którymi wciąż trzeba się mierzyć, pozostają prawa fizyki i plastyczność materii. Dialog pomiędzy człowiekiem a ograniczeniami materiałowymi ukazuje wartość, jaką są doświadczenie, wyczucie i intuicja. W zrozumieniu naprężeń, skurczu i zachowania mokrej gliny nieoceniona okazuje się pamięć mięśniowa i wiedza, którą nabyłam przez lata toczenia na kole garncarskim oraz odlewania porcelany w formach gipsowych.

Obserwuję, gdzie ścieżki zgniatają się wzajemnie, a gdzie grawitacja powoduje ich zapadanie się, po czym wracam do kodu cyfrowego, by nanieść poprawki. Ogromne znaczenie ma też kierunek, w którym przemieszcza się dysza. Plastyczna masa zupełnie inaczej układa się przy stromych podjazdach, a inaczej podczas ruchu w dół. Istotne jest uwzględnianie tych zmiennych i zróżnicowanie dystansu pomiędzy kolejnymi odcinkami, a czasem również dostosowywanie ilości wytłaczanej masy, niczym siły docisku dłoni do gliny przy lepieniu ręcznym. Nie ma na to gotowych wzorów matematycznych ani podręcznikowych tabel. To wiedza ucieleśniona, którą – jak w każdym tradycyjnym rzemiośle – zdobywa się wraz z doświadczeniem.



Il. 2. Przykład budowania geometrii wydruku przy użyciu zmiennych kierunków nakładania masy porcelanowej, proj. Maria Bąk, 2025; fot. Maria Bąk



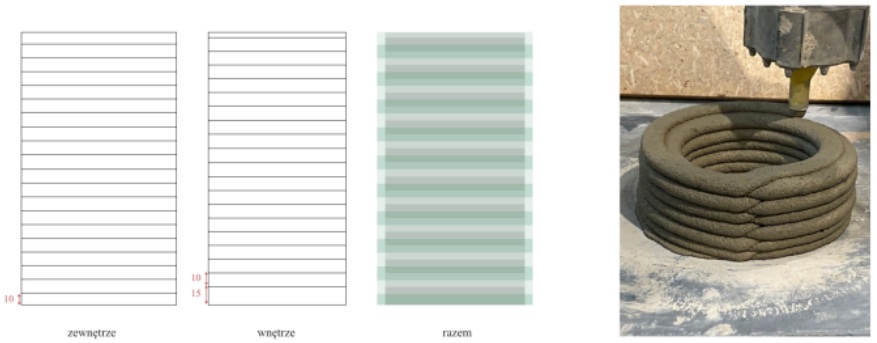
Il. 3. Cyfrowa reinterpretacja klasycznego splotu skośnego łamanego, „jodełki", proj. Maria Bąk, 2025; fot. Maria Bąk

Przejście od działań w mikroskali do technologii budowlanych

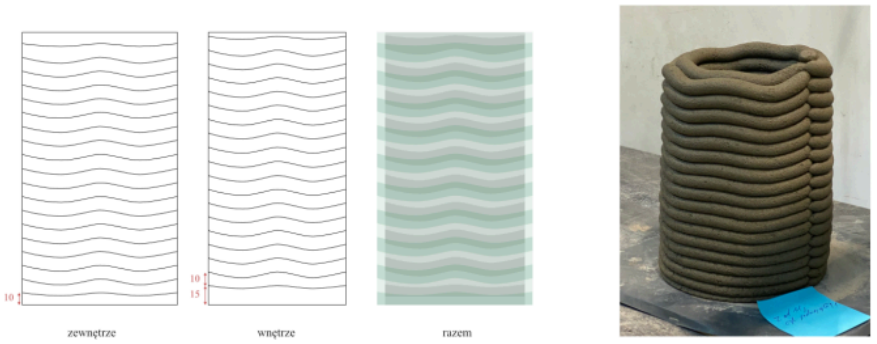
Podczas stażu naukowego na Zachodniopomorskim Uniwersytecie Technologicznym w Szczecinie badałam możliwości przeniesienia moich dotychczasowych doświadczeń przy druku 3D masami ceramicznymi – na mieszanki betonowe[4]. Beton drukowany 3D, w przeciwieństwie do ceramiki, jest już wykorzystywany w przemyśle budowlanym jako element konstrukcyjny, stąd też prowadzone na nim badania przyjmują zupełnie inny charakter. Próby w masach ceramicznych często skupiają się na sferze wizualnej i relacji pomiędzy obiektem a odbiorcą. Konieczność wypału ogranicza obiekty do małej skali lub podziału kompozycji na moduły. Działania w betonie mają inne ukierunkowanie. W pierwszej kolejności muszą odpowiadać na wyzwania czysto inżynieryjne, takie jak zapewnienie nośności, wytrzymałości i odporności na warunki zewnętrzne, a rozmiar wydruków betonowych nie jest ograniczony procesowo.

Znając specyfikę technologii addytywnych, łatwo zauważyć, że drukowane modele są najsłabsze w przestrzeniach międzywarstwowych. Postanowiłam wzmocnić te strefy poprzez druk dwuścienny. Rozdzielenie bryły na dwie ścianki pozwala zróżnicować podział wnętrza oraz zewnętrza formy. Dzięki drukowaniu dwóch o połowę cieńszych ścianek można zachować tę samą grubość obiektu. Optymalizuje to zużycie mieszanki, a jedynym kosztem operacji pozostaje wydłużony czas pracy maszyny.

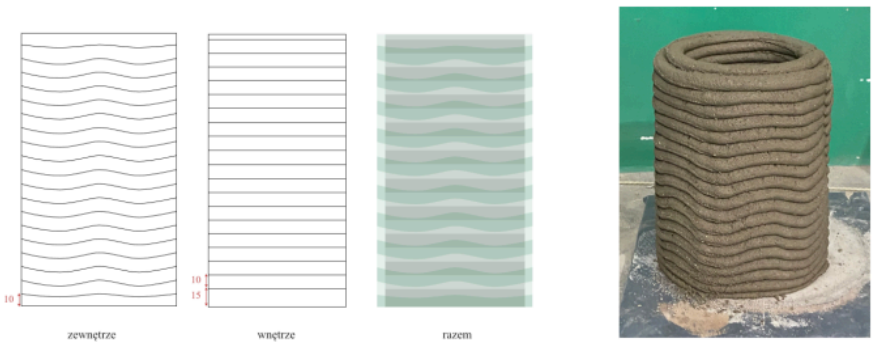
Zastosowanie dwóch niezależnych ścieżek umożliwia ich naprzemienne zazębienie i rozproszenie miejsc narażonych na pękanie. Jedną z testowanych opcji jest poziome podzielenie obu ścian z celowym przesunięciem ich fazy w osi z (il. 4). Kolejna podjęta próba powiela ten sam zabieg, ale z falistym podzieleniem obu ścian i przesunięciem ich względem siebie (il. 5). Inny wariant zakłada połączenie zewnętrznej, pofalowanej struktury z tradycyjnym, poziomym podziałem rdzenia wewnętrznego (il. 6). Celem było zwiększenie wytrzymałości ścian wydruków, które w przyszłości mogłyby pełnić funkcję elementów nośnych lub pracować pod obciążeniem ściskającym. Beton, również ten drukowany 3D, idealnie nadaje się do fabrykacji kolumn, podpór czy ścian budynków, gdzie takie usztywnienie bryły jest technologicznie uzasadnione. Próby te mają na razie charakter eksperymentalny, a ostateczne potwierdzenie ich zwiększonej wytrzymałości na pękanie wymagałoby pogłębionych badań ilościowych.



Il. 4. Druk dwuścienny w mieszance betonowej, wersja A, proj. Maria Bąk, 2026; fot. Maria Bąk



Il. 5. Druk dwuścienny w mieszance betonowej, wersja B, proj. Maria Bąk, 2026; fot. Maria Bąk

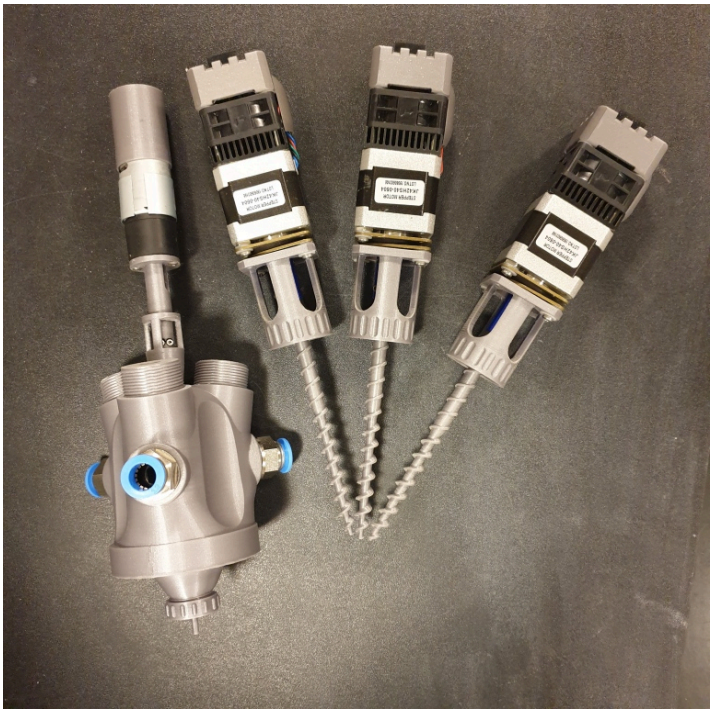


Il. 6. Druk dwuścienny w mieszance betonowej, wersja C, proj. Maria Bąk, 2026; fot. Maria Bąk

Moje próby ukazują potrzebę prowadzenia prac i działań zespołowych z równorzędnym zaangażowaniem inżynierów, projektantów i artystów. Łącząc wiedzę technologiczną z wrażliwością estetyczną i dorobkiem kulturowym, jesteśmy w stanie wyjść poza wąskie, utarte ścieżki projektowe. Na styku dziedzin dzieją się rzeczy nie do końca zrozumiałe dla obu stron, głębsze i bardziej wartościowe niż to, co poszczególne dyscypliny mogłyby wypracować w izolacji. Samodzielne pisanie algorytmów pozwala w niekonwencjonalny sposób planować przebieg trasy wydruku, a w połączeniu z wiedzą technologiczną prowadzi do poszerzenia potencjału druku 3D w bardzo realnych i praktycznych zastosowaniach.

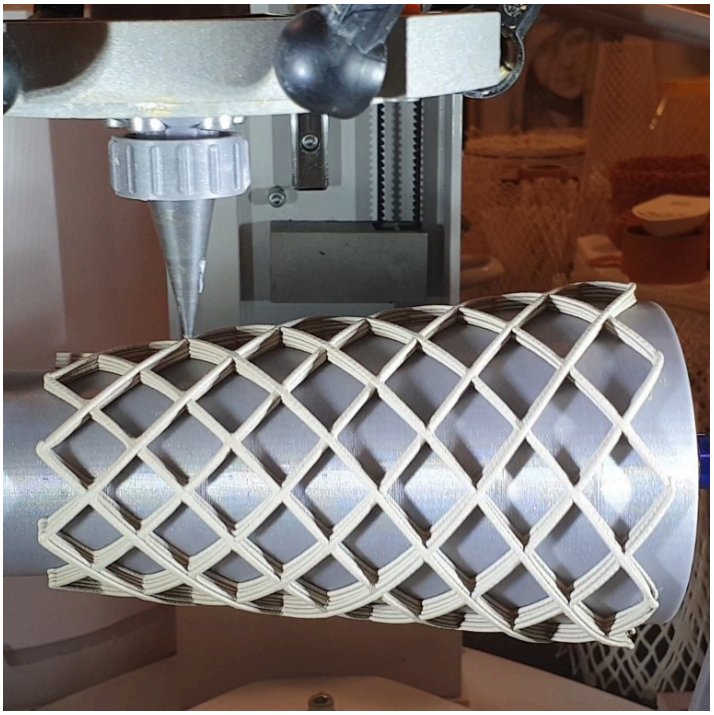
Ingerencja w sprzęt

Moje poszukiwania skupiają się na kodowaniu, jednak bunt przeciwko rynkowym standardom równie często przenosi się na sam sprzęt. Poszukując przykładów na rodzimym gruncie, naturalnie zwracam uwagę na działania Piotra Waśniowskiego[5]. Jego innowacyjność nie kończy się na programowaniu, lecz ingeruje w samo oprzyrządowanie. Choć u podstaw technologii 3D leżała idea otwartych środowisk (open source), współcześni producenci maszyn CNC i drukarek gwarantują niezawodność wyłącznie przy zachowaniu fabrycznych parametrów i materiałów. Piotr Waśniowski, zamiast ograniczać się do możliwości gotowych urządzeń, fizycznie je przebudowuje i projektuje własne głowice (il. 7, il. 8), zastępuje statyczny blat roboczy formą obrotową (il. 9) czy eksperymentuje z obrotowymi dyszami o zróżnicowanych otworach dystrybucyjnych (il. 10). Jego próby mają charakter hobbystyczny oraz badawczy i są wolne od presji komercyjnej optymalizacji. Taka niezależność pozwala na swobodną eksplorację ekstremalnych sposobów zachowania się materiałów oraz obieranie kierunków o ogromnym potencjale, nawet jeśli nie wiążą się one z natychmiastowym urynkowieniem. Oddolna dekonstrukcja maszyny to dowód na to, że prawdziwe innowacje rodzą się na styku ograniczeń materii i modyfikacji samego narzędzia.

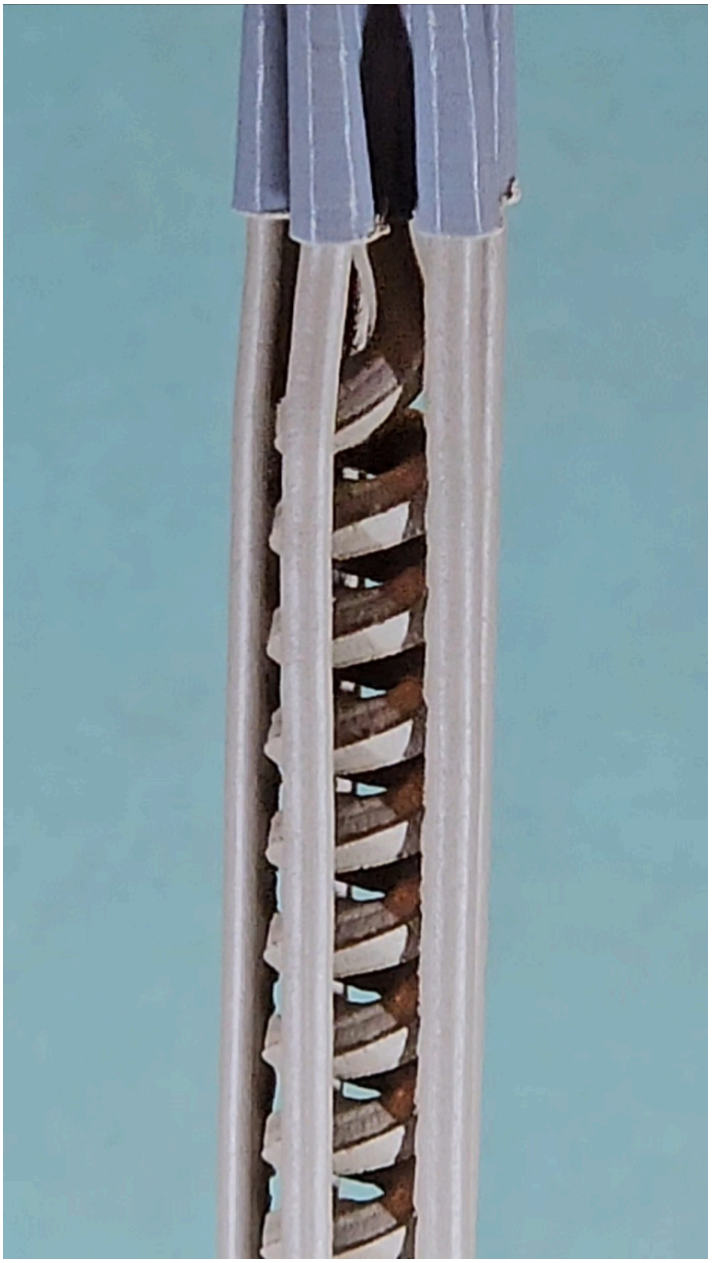


Il. 7. Głowica umożliwiająca mieszanie trzech kolorów gliny, proj. Piotr Waśniowski, 2021; fot. Piotr Waśniowski (instagram.com/p/CuB1KziMT-R/?utm_source=ig_web_copy_link&igsh=MzRIODBiNWFIZA== [data dostępu: 11.3.2026])

Il. 8. Wydruk 3D z zastosowaniem trzech rodzajów mas, proj. Piotr Waśniowski, 2021; fot. Piotr Waśniowski (instagram.com/p/CuB1KziMT-R/?utm_source=ig_web_copy_link&igsh=MzRIODBiNWFIZA== [data dostępu: 11.3.2026])



Il. 9. Druk 3D na obrotowej formie, proj. Piotr Waśniowski, 2021; fot. Piotr Waśniowski (instagram.com/p/CPps5MPMTu3/?utm_source=ig_web_copy_link&igsh=MzRlODBiNWFlZA== [data dostępu: 11.3.2026])



Il. 10. Próba druku ze spiralą formującą się w środku. Autorska dysza z pięcioma otworami, proj. Piotr Waśniowski, 2024; fot. Piotr Waśniowski (instagram.com/reel/C50JZgzMF33/?utm_source=ig_web_copy_link&igsh=MzRlODBiNWFlZA== [data dostępu: 10.3.2026])

Architektura obliczeniowa

O ile Piotr Waśniowski modyfikuje fizyczne parametry narzędzia, inni projektanci testują ostateczne granice samej architektury obliczeniowej, całkowicie abstrahując od ograniczeń tradycyjnego warsztatu. Obserwując rozwój technologii addytywnych, dostrzegam moment, gdy to algorytm przejmuje rolę dłuta i staje się przedłużeniem ręki projektanta. Zupełnie inną skalę takiego eksperymentu prezentuje Michael Hansmeyer. Pisane przez architekta algorytmy pozwalają na generowanie form o stopniu skomplikowania niemożliwym do wymodelowania manualnego. Przykładem takiej pracy, która pochłania zmysły i angażuje wizualnie niezwykłym

nagromadzeniem detali, są obiekty z cyklu *Digital Grotesque II*[6] (il. 11). Pełnowymiarowa grota wykonana w technologii wielkoformatowego druku 3D poprzez warstwowe utwardzanie sypkiego piasku (binder jetting) jest całkowicie wygenerowana przy użyciu autorskich algorytmów wspomagających proces. Architekt nie buduje brył, wyznaczając każdy promień i kąt, ale opisując budowaną przestrzeń zbiorem procedur. Michael Hansmeyer inspiruje się zjawiskami morfogenetycznymi. Wzrost komórek, budowanie kryształów czy formacji skalnych opiera się na naturalnych algorytmach przyrody, które architekt cyfrowo reinterpretuje. Twórca przyjmuje w tym procesie rolę kuratora i decydenta, który nakierowuje algorytm, uczy go samodzielnie optymalizować własne kreacje, ale finalnie z tysięcy[7] propozycji to człowiek wybiera tę docelową.

Il. 11. Digital Grotesque II to drukowana z piaskowca instalacja (krzemian + spoiwo). Grota ukazuje, jak technologia może wizje architektoniczne uczynić namacalnymi obiektami; proj. Michael Hansmeyer, współpraca Benjamin Dillenburger; fot. Fabrice dall'Anese, 2017 (S. Szablowski, Przyszłość to sztuka – BMW Art Club, 2023, s. 73, michael-hansmeyer.com/books [data dostępu: 12.3.2026])

Inną realizacją zaprojektowaną przez Michaela Hansmeyera, oraz Benjamina Dillenburgera, jest najwyższa na świecie, w pełni wykonana w technologii druku 3D, prawie 30-metrowa *Biała wieża* (il. 12). Konstrukcja wspiera się na wysoce zróżnicowanych strukturalnie kolumnach, zwieńczonych kopułą i tarasem widokowym. Budynek niczym latarnia morska wznosi się i góruje nad szwajcarską wioską, przyciągając uwagę mieszkańców i zwiedzających z całego świata. Jest to przykład połączenia projektowania komputerowego z zaawansowanym materiałoznawstwem, które wspólnie zapewniają zrównoważone budownictwo. Dopracowane algorytmy wspomagają zarówno proces projektowy, jak i samą fabrykację. W każdej z kolumn przewidziane są miejsca na zbrojenie, które zostaje zaimplementowane synchronicznie w czasie trwania wydruku (il. 13).

Ograniczenie ilości konstrukcji wspomagających wymaganych przy tradycyjnym wylewaniu betonu redukuje odpady i zużycie materiałów

o połowę[8]. Brak szalunków odlewniczych pozwala także na pokaz bogactwa kształtów zmieniających się na każdej kondygnacji. Sięgając po druk 3D, nie musimy ograniczać się do jednego odlewu, ale z pełną elastycznością możemy modyfikować, urozmaicać i rozbudowywać każdy element, aby zróżnicować je między sobą i w ten sposób uatrakcyjnić. W przytoczonym przykładzie architekci świadomie wykorzystują wszystkie te zalety.

Il. 12. Biała wieża, proj. Michael Hansmeyer, współpraca Benjamin Dillenburger, 2025; fot. Michael Hansmeyer (S. Szablowski, Przyszłość to sztuka – BMW Art Club, 2023, s. 97, michael-hansmeyer.com/books [data dostępu: 12.3.2026])

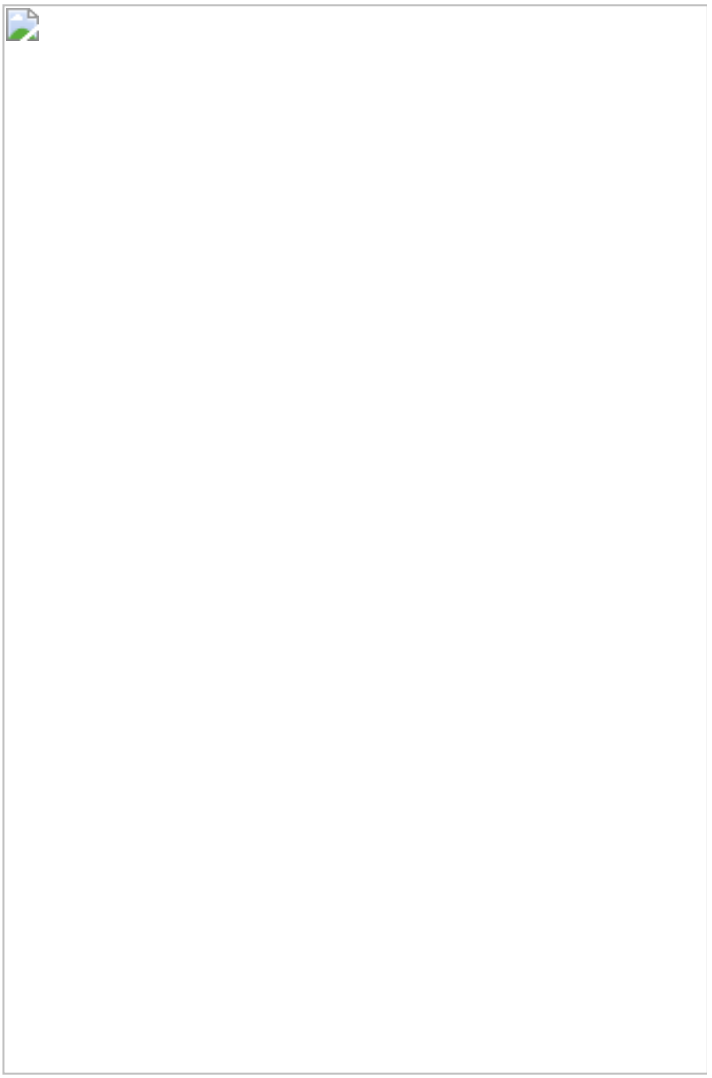
Il. 13. Proces druku kolejnych segmentów Białej wieży z uwzględnieniem miejsca na zbrojenie; fot. A. Anton, C. Lin, M. Yang (M. Hansmeyer, Tor Alva (The White Tower), Mulgens, 2025, Michael Hansmeyer, michael-hansmeyer.com/white-tower [data dostępu: 12.3.2026])

Pomost pomiędzy tradycją a innowacją

Generowanie złożonych form w wirtualnym środowisku to jednak tylko część sukcesu. Idealnym dowodem na to, że da się zbudować skuteczny, technologiczny pomost między innowacją a tradycyjnym rzemiosłem, jest instalacja *Aevum* (il. 14). Projekt ten pokazuje, że nawet na najwyższym, globalnym poziomie realizacyjnym to właśnie ręczne pisanie ścieżek druku determinuje ostateczny sukces. Firma Vertico razem z Zaha Hadid Architects połączyła marmurowy łuk ze spójnymi w swojej formie segmentami

drukowanymi w betonie. Najtrudniejszym momentem i głównym technologicznym wąskim gardłem całego projektu było indywidualne projektowanie rozkroju każdej z brył[9]. Pliki dla maszyn generowano we wcześniej wspomnianym środowisku Grasshopper, całkowicie według własnych wytycznych. Była to czasochłonna procedura, ale dzięki dobrze przemyślanym ścieżkom druku sama fabrykacja elementów zajęła zaledwie 48 godzin. Projekt śmiało eksponuje łączenia przebiegające pomiędzy kolejnymi elementami, podkreślając płynność i organiczność całej formy. Odrzucenie standardowych, gotowych narzędzi tnących i ścisła, algorytmiczna współpraca projektantów z inżynierami procesu wytwórczego pozwoliły na dokładne odwzorowanie przestrzennej koncepcji w fizycznej bryle.

Il. 14. Instalacja Aevum, proj. Vertico oraz Zaha Hadid Architects, 2025; fot. Vertico



Il. 15. Produkcja jednego z 21 elementów składających się na instalację Aevum, realizacja Vertico, 2025; fot. Vertico

Podsumowanie

Dziś nie stoimy jedynie przed pytaniem, co wykonać, ale również – jak to zrobić. Świadomość procesu i dbałość o detal realizacyjny są kluczowe w odbiorze projektowanych dzieł. Nie ma dróg na skróty. Możemy

posiłkować się istniejącymi udogodnieniami programowymi czy pomocą sztucznej inteligencji, ale dopiero wyjście poza ramy pozwala osiągnąć prawdziwie spektakularne efekty.

Doświadczamy świata rozwijającego się w warunkach bardzo zmiennych[10], w których kompetencjami przyszłości są zwinność (agile)[11] i zdolność do szybkiej adaptacji[12]. Wymagają one gotowości na nieustanne przekształcanie warsztatu, a zmiany nie zaczynają się od narzędzi, ale już w momencie uświadomienia sobie potrzeby. Projektant musi skupić się na pierwotnej i głównej idei formy, traktując oprogramowanie jako ewoluującą, poddającą się modyfikacjom strukturę. Zachowajmy rzemieślniczą upartość, umiejętność ciągłego uczenia się, popełniania błędów i szukania nowych rozwiązań. Narzędzie, które każdy sam naostrzy pod swoje potrzeby, nigdy nie zdominuje twórcy.

Przypisy

1. A. Loos, *Ornament i zbrodnia. Eseje wybrane*, BWA, Fundacja Centrum Architektury, Tarnów – Warszawa 2013, s. 30.
2. Grasshopper działa wewnątrz aplikacji Rhinoceros 3D.
3. „In 3D printing, objects are fabricated by computer controlled machinery, which deposits or solidifies materials, one layer on top of another, in a way that could be described as analogous to the building of a traditional coil pot" (S. Hoskins, *Printing for Artists, Designers and Makers*, London 2018, s. 6).
4. Staż odbył się w styczniu 2026 roku pod opieką prof. Piotra Jędrzejewskiego (ASP we Wrocławiu) oraz dr. inż. Marcina Hoffmana (Zachodniopomorski Uniwersytet Techniczny w Szczecinie).
5. W. Droździewicz, *Zmodyfikowana Gaia do wielokolorowych wydruków z gliny*, 22.10.2019, Świat Druku 3D, swiatdruku3d.pl/zmodyfikowana-gaia-do-wielokolorowych-wydrukow-z-gliny/ [data dostępu: 23.3.2026].
6. Pierwsza rzeźba z serii *Digital Grotesque* powstała w 2013 roku dla Frac Centre w Orleanie.
7. W tym przypadku powstało 16 386 wersji. Zob. M. Hansmeyer, *Digital Grotesque II*, 2017, Michael Hansmeyer, michael-hansmeyer.com/digital-grotesque-II [data dostępu: 11.3.2026].
8. S. Szablowski, *Przyszłość to sztuka – BMW Art Club*, 2023, s. 73, michael-hansmeyer.com/books [data dostępu: 12.3.2026].
9. V. Ruitinga, *BE-AM Symposium 2025*, YouTube, youtube.com/watch?v=mA2_kaQXmUw [data dostępu: 12.3.2026].

10. Model VUCA opisuje świat, który nas otacza. Rozwinięcie skrótu: V – volatility (zmienność), U – uncertainity (niepewność), C – complexity (złożoność), A – ambiquity (niejednoznaczność).
Zob. J. Wieczorek, K. Szczepanik, *Świat VUCA i BANI*, 2023, Porządny Agile, porzadnyagile.pl/swiat-vuca-i-bani/ [data dostępu: 8.3.2026].

11. J. Wieczorek, K. Szczepanik, *Co to jest agile?*, porzadnyagile.pl/co-to-jest-agile/ [data dostępu: 8. 3.2026].

12. K.J. Śliwa, *O szukaniu rezyliencji*, Formy 17.7.2024, formy.xyz/krotka-forma/o-szukaniu-rezyliencji/ [data dostępu: 8.3.2026].

Bibliografia

1. W. Droździewicz, *Zmodyfikowana Gaia do wielokolorowych wydruków z gliny*, 22.10.2019, Świat Druku 3D, swiatdruku3d.pl/zmodyfikowana-gaia-do-wielokolorowych-wydrukow-z-gliny/ [data dostępu: 23.3.2026].

2. M. Hansmeyer, *Tor Alva (The White Tower)*, *Mulgens*, 2025, Michael Hansmeyer, michael-hansmeyer.com/white-tower [data dostępu: 12.3.2026].

3. M. Hansmeyer, *Digital Grotesque II*, 2017, Michael Hansmeyer, michael-hansmeyer.com/digital-grotesque-II [data dostępu: 11.3.2026].

4. S. Hoskins, *Printing for Artists, Designers and Makers*, London 2018.

5. U. Knaack, O. Tessmann, A. Wolf, *BE-AM | Built Environment Additive Manufacturing 2025*, Darmstadt 2025.

6. A. Loos, *Ornament i zbrodnia. Eseje wybrane*, BWA, Fundacja Centrum Architektury, Tarnów – Warszawa 2013.

7. V. Ruitinga, *BE-AM Symposium 2025*, YouTube, youtube.com/watch?v=mA2_kaQXmUw [data dostępu: 12.3.2026].

8. S. Szablowski, *Przyszłość to sztuka – BMW Art Club*, 2023, s. 23–103, michael-hansmeyer.com/books [data dostępu: 12.3.2026].

9. K.J. Śliwa, *O szukaniu rezyliencji*, Formy 17.7.2024, formy.xyz/krotka-forma/o-szukaniu-rezyliencji/ [data dostępu: 8.3.2026].

10. O. Tessmann, U. Knaack, C. B. Costanzi, P. L. Rosendahl, B. Wibranek, *Print Architecture!*, Baunach 2022.

11. J. Wieczorek, K. Szczepanik, *Co to jest agile?*, porzadnyagile.pl/co-to-jest-agile/ [data dostępu: 8. 3.2026].

12. J. Wieczorek, K. Szczepanik, *Świat VUCA i BANI*, 2023, Porządny Agile, porzadnyagile.pl/swiat-vuca-i-bani/ [data dostępu: 8.3.2026].

Abstrakt

Tekst opiera się na analizie wybranych studiów przypadków pomijania uniwersalnego oprogramowania w praktykach projektowych. Głównym praktycznym obszarem odniesienia są autorskie poszukiwania w zakresie druku 3D masami ceramicznymi. Odrzucenie standardowego, horyzontalnego rozkroju brył na rzecz nieplanarnego generowania ścieżek w programie Grasshopper ukazuje szereg dostępnych rozwiązań istotnych pod względem zarówno technologicznym, jak i estetycznym. Takie podejście pozwala traktować proces fabrykacji jako integralną część projektowania formy, a nie jedynie etap techniczny. Adaptacja proponowanych rozwiązań do druku 3D mieszankami betonowymi dowodzi potencjału tych metod w budownictwie i eksponuje wymierną wartość takiego podejścia.
Aby ukazać szerszy kontekst artykuł przedstawia praktyki innych twórców z Polski i zagranicy. Piotr Waśniowski stosuje oddolną ingerencję w sprzęt roboczy, udowadniając, że fizyczna przebudowa maszyny jest równie istotna, co modyfikacja kodu. Z kolei projekty Michaela Hansmeyera oraz instalacja Aevum (firmy Vertico oraz Zaha Hadid Architects) pokazują, że na najwyższym poziomie realizacyjnym to właśnie autorskie algorytmy i ścisła, interdyscyplinarna współpraca pozwalają przekraczać granice konstrukcyjne.
Podsumowanie akcentuje konieczność zachowania rzemieślniczego uporu i ciągłej gotowości do modyfikacji narzędzi. Autorskie tworzenie rozwiązań cyfrowych rzadko służy optymalizacji czasu pracy, jednak z perspektywy świadomego projektanta stanowi inwestycję absolutnie niezbędną.

Artykuł dostępny online:

https://formy.xyz/artykul/kazdy-sam-ostrzy-swoje-olowki-wlasne-algorytmy-w-druku-3d/

dostęp: 27.06.2026

2 Sharpen Your Own Pencils. Your Own Algorithms in 3D Printing

Abstract EN

The text is based on the analysis of selected case studies of avoiding universal software in design practices. The main practical reference point are the original pursuits in the scope of ceramic mass 3D printing. Rejecting the standard, horizontal plane cut in favour of the non-planar path generation in the Grasshopper programme demonstrates a range of available solutions, important for technological and aesthetic reasons. Such an approach allows to see the fabrication process as an integral part of form design rather than a mere technical stage. Adaptation of the offered solutions to concrete mix 3D printing attests to the potential of these methods in construction and emphasises the measurable value of this approach.

In order to demonstrate a broader context, the article presents practices of other makers from Poland and abroad. Piotr Waśniowski uses the bottom-up intervention in the working equipment and proves that the physical construction of the machine is as important as the modification of code. Michael Hansmeyer's designs, in turn, and the installation Aevum (by Vertico and Zaha Hadid Architects) show that at the highest execution level, it is actually the original algorithms and close interdisciplinary collaboration that allow for exceeding the construction boundaries.
The summary emphasises the necessity of preserving the artisan's persistence and constant readiness to modify tools. Original digital solutions rarely serve to optimise working time, but every aware designer understands it as an absolutely necessary investment.

Keywords: 3D printing, case study, technology, algorithms, contemporary craft