

3dArtech Sp. z o.o.
25-639 Kielce ul. Malików 150 D
Laboratorium Badawcze 25-415 Kielce ul. Górna 20



Rozszerzony opis merytoryczny wykonanych prac i uzyskanych rezultatów w ramach realizacji etapu I.

Realizowany w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny
Rozwój
2014-2020

Numer wniosku o dofinansowanie: POIR.01.01.01-00-0737/18

Data złożenia wniosku: 2018-11-30 10:56:41

Na podstawie R-Zadań Badawczych prowadzonych w firmie
3dArtech w ramach I etapu opracował:

Jarosław Wójcik i Janusz Wójcik

Założenia do badań, harmonogram prac oraz wyniki
badań I etapu zatwierdził:

RAPORT Z REALIZACJI I ETAPU PROJEKTU realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020 Numer wniosku o dofinansowanie: POIR.01.01.01-00-0737/18 Data złożenia wniosku: 2018-11-30 10:56:41	POIR.01.01.01-00-0737/18 Specjalista w zakresie akustyki i technologii prof. dr hab. inż. Andrzej Kulowski 
RAPORT Z REALIZACJI I ETAPU PROJEKTU realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020 Numer wniosku o dofinansowanie: POIR.01.01.01-00-0737/18 Data złożenia wniosku: 2018-11-30 10:56:41	POIR.01.01.01-00-0737/18 Specjalista w zakresie technologii i konstrukcji maszyn dr hab. inż. Marek Macko prof. uczelni 
RAPORT Z REALIZACJI I ETAPU PROJEKTU realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020 Numer wniosku o dofinansowanie: POIR.01.01.01-00-0737/18 Data złożenia wniosku: 2018-11-30 10:56:41	POIR.01.01.01-00-0737/18 KIEROWNIK B + R Adam Biernacki 
RAPORT Z REALIZACJI I ETAPU PROJEKTU realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020 Numer wniosku o dofinansowanie: POIR.01.01.01-00-0737/18 Data złożenia wniosku: 2018-11-30 10:56:41	3Dartech Sp. z o.o. 25-639 Kielce ul. Malików 150 D NIP 9591998442 Regon 368734576 KRS 0000703292 (2) Prezes Janusz Wójcik 



Fundusze Europejskie
Inteligentny Rozwój



Rzeczpospolita
Polska



Narodowe Centrum
Badań i Rozwoju

Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego



Spis treści

I) Streszczenie.

II) Wstęp.

III) Wnioski

1) zakres badania

2) pytania, problemy badawcze, hipotezy.

3) wyniki i wnioski (*odpowiedź na pytanie badawcze, interpretacja wyników*)

IV. Metodologia.

V. Rekomendacje.

I. Streszczenie

Tematem badań przemysłowych I etapu było opracowanie technologii wykonywania w technice wydruku 3D, przestrzennych struktur (powłok, ustrojów, reliefów, paneli) posiadających właściwości akustyczne i ognioodporne o wysokich walorach dekoracyjnych. W zakresie opracowania były:

- geometrie ustrojów akustycznych o swobodnej formie rzeźbiarskiej i sparametryzowanych właściwościach akustycznych
- masy, których reologia i skład spełniały warunki konieczne druku 3d akustycznych ustrojów pochłaniających i rozpraszających dźwięk
- głowice drukujące konieczne do zrealizowania sześciu zdefiniowanych w założeniach badawczych efektów plastycznych do produkcji paneli elewacyjnych i ściennych

Badania w laboratoriach firmy 3dArtech miały charakter interdyscyplinarny ponieważ dotyczyły zaprojektowania nowatorskiego urządzenia wraz z oprogramowaniem, drukującego ognioodporne ustroje o przewidywalnych parametrach akustycznych oraz technikę i technologię druku paneli elewacyjnych i ściennych mających zastosowanie w budownictwie. Przebieg badań i wyniki prac badawczych opisano w 24 Zadaniach Badawczych, które wraz rysunkami technicznymi, zdjęciami, filmami i próbkami materiałów znajdują się w archiwum firmy 3dArtech w Kielcach na ul. Górnej 20.

1. R-ZADANIE BADAWCZE nr 1 - Zestaw mas ceramicznych dla drukarki 3d do produkcji paneli akustycznych wypalanych w piecu.
2. R-ZADANIE BADAWCZE nr 2 - Zestaw mas geopolimerowych dla drukarki 3d.
3. R-ZADANIE BADAWCZE nr 3 - Zestaw mas polimerowych dla drukarki 3d.
4. R-ZADANIE BADAWCZE nr 4 - System przygotowania i dostarczania mas do głowicy drukującej 3d.
5. R-ZADANIE BADAWCZE nr 5 - Pomiar współczynnika pochłaniania dźwięku α_w w rurze impedancyjnej.
6. R-ZADANIE BADAWCZE nr 6 (próbka 3) - Pomiar współczynnika pochłaniania dźwięku α_w ustroju akustycznego.

7. R-ZADANIE BADAWCZE nr 7 (próbka 6) - Pomiar współczynnika pochłaniania dźwięku α_w hybrydowego ustroju akustycznego.
8. R-ZADANIE BADAWCZE nr 8 (próbka 1, 4, 7) - Pomiar współczynnika pochłaniania dźwięku α_w paneli zewnętrznych i wewnętrznych.
9. R-ZADANIE BADAWCZE nr 9 (próbka nr10, nr11, nr12) - Pomiar w komorze pogłosowej współczynnika rozpraszania dźwięku s.
10. R-ZADANIE BADAWCZE nr 10 (próbka nr 8) - Pomiar w komorze pogłosowej współczynnika rozpraszania dźwięku s.
11. R-ZADANIE BADAWCZE nr 11 (próbka nr 9, nr 9b) - Pomiar w komorze pogłosowej współczynnika rozpraszania dźwięku s.
12. R-ZADANIE BADAWCZE nr 12 (próbka 1) - Pomiar rozpraszania dźwięku d.
13. R-ZADANIE BADAWCZE nr 13 (próbka 2) - Pomiar rozpraszania dźwięku d.
14. R-ZADANIE BADAWCZE nr 14 - Projekty cyfrowe (format stl, jpg, solidworks, pdf) ustrojów akustycznych.
15. R-ZADANIE BADAWCZE nr 18 - Projektowanie, konstruowanie i badanie działania dekodera.
16. R-ZADANIE BADAWCZE nr 19 - Projektowanie, konstruowanie i badanie głowicy A.
17. R-ZADANIE BADAWCZE nr 20 - Projektowanie, konstruowanie i badanie głowicy B.
18. R-ZADANIE BADAWCZE nr 21 - Projektowanie, konstruowanie i badanie głowicy C.
19. R-ZADANIE BADAWCZE nr 22 - Projektowanie, konstruowanie i badanie głowicy D.
20. R-ZADANIE BADAWCZE nr 23 - Projektowanie, konstruowanie i badanie głowicy E.
21. R-ZADANIE BADAWCZE nr 24 - Projektowanie, konstruowanie i badanie głowicy F.
22. R-ZADANIE BADAWCZE nr 25 - Badania na reakcje na ogień i ognioodporność mas i paneli.
23. R-ZADANIE BADAWCZE nr 26 - Proces projektowania cyfrowego paneli akustycznych.
24. R-ZADANIE BADAWCZE nr 27 - Program komputerowy do projektowania paneli i ustrojów akustycznych w procesie druku 3d.

Badania zgodne z normami polskimi i europejskimi zlecono laboratoriom zewnętrznym.
W wyniku prac osiągnięto założenia kamienia milowego I etapu:

- wydrukowano sztywne ustroje akustyczne bez udziału wełny mineralnej o zakładanym współczynniku pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0,9$.
- wydrukowano dyfuzory akustyczne o zakładanych parametrach rozpraszania dźwięku s ≈ 1 w zakresie średnich częstotliwości.
- wydrukowano dyfuzory akustyczne o zakładanych parametrach kierunkowego rozpraszania dźwięku d=0,79 dla średnich częstotliwości dźwięku.

- zaprojektowano i sporządzono zestaw utwardzonych mas ceramicznych do druku 3d ustrojów rozpraszających dźwięk oraz zestaw porowatych mas ceramicznych do druku ustrojów pochłaniających o współczynniku α_w od 0,5 do 0,9.
- zaprojektowano i sporządzono zestaw mas geopolimerowych i polimerowych o podwyższonej odporności na warunki atmosferyczne i ogień dedykowane dla paneli elewacyjnych i ścian wewnętrznych.
- Zaprojektowano i poddano badaniom zestaw sześciu głowic drukujących 3d ustroje akustyczne, panele ściennie i elewacyjne.
- Zaprojektowano w formie *stl* dwanaście ustrojów akustycznych o przewidywalnych parametrach akustycznych.

II. WSTĘP

Celem badań I etapu było wyprodukowanie drukarką 3d z wykorzystaniem własnych mas akustycznych ustrojów i paneli pochłaniających i rozpraszających dźwięk, a także skonstruowanie i badanie sterowanych autorskim programem prototypowych głowic realizujących na panelach elewacyjnych i ściennych złożone efekty plastyczne.

III. Wnioski.

1. Zakres badania.

- porowate (pochłaniające dźwięk) oraz twarde (rozpraszające dźwięk) masy ceramiczne do druku 3d wypalane w $t=1300^{\circ}\text{C}$ (R-ZBnr1, R-ZB nr 5)
- projektowanie, druk i badanie skuteczności pochłaniania dźwięku wewnętrznych struktur przestrzennych ustrojów akustycznych (R-ZB nr 5).
- masy geopolimerowe (R-ZBnr2) i polimerowe (R-ZBnr3) do druku paneli elewacyjnych i do wnętrza.
- system przygotowania i dostarczania mas do głowicy drukującej (R-ZBnr4)

- proces projektowania cyfrowego paneli akustycznych i tworzenie g-codów do druku 3d (D-ZBnr27)
- druk i badanie ustrojów akustycznych pochłaniających dźwięk (R-ZBnr5, R-ZBnr6, R-ZBnr7, R-ZBnr8)
- druk i badanie ustrojów akustycznych rozpraszających dźwięk (R-ZBnr9, R-ZBnr-10, R-ZBnr11, R-ZBnr12, R-ZBnr13)
- głowice drukujące: Głowica A do druku obrazów pięcioma kolorami (R-ZBnr19), Głowica B do druku obiektów przestrzennych i płaskich reliefów (R-ZBnr20), Głowica C do modelowania wydrukowanej masy (R-ZBnr21), Głowica D do drukowania reliefu wypukłego (R-ZBnr22), Głowica E do druku wypukłych rastrów (R-ZBnr23), Głowica F do drukowania tła (R-ZBnr24)
- badanie reakcji na ogień paneli: elewacyjnych i ściennych, sztywnych i elastycznych, polimerowych i geopolimerowych implementowanych w systemy elewacyjne z ociepleniem i bez (R-ZBnr25)
- program komputerowy z interfejsem do przekształcania projektów bitmapowych i wektorowych na pliki sterujące procesem druku głowic oraz platforma cyfrowa do projektowania paneli ściennych i elewacyjnych (R-ZBnr27)

2. Pytania, problemy badawcze, hipotezy.

Postawione poniżej pytania badawcze, problemy do rozwiązania i hipotezy opisano w **Zadaniach Badawczych** (podkreślone dotyczą realizacji kamienia milowego Wniosku inne logicznie wynikają z prowadzonych prac badawczych).

- Z uwagi na duże walory estetyczne i wytrzymałościowe zdecydowano się na opracowanie receptur mas akustycznych do druku 3d na bazie glin ceramicznych modyfikowanych wypełniaczami organicznymi i mineralnymi przeznaczonych do wypału w $t=1300^{\circ}\text{C}$. Poszukiwano odpowiedzi na pytanie o zależność parametrów druku od składu jakościowego i ilościowego oraz parametrów akustycznych (R-ZB nr 1, R-ZB nr 5).
- Postawiono tezę, iż struktura wewnętrzna ustrojów akustycznych składająca się z kanałów o przekroju kilku milimetrów kwadratowych, rozbudowanej fakturze ścianek i spiralnym przebiegu może mieć znaczący wpływ na pochłanianie dźwięku (R-ZB nr 5).
- Poszukiwano mas do druku 3d o dużych walorach estetycznych, odpornych na warunki pogodowe, starzenie i wysokiej klasie odporności na ogień (R-ZB nr 1, R-ZB nr 2, R-ZB nr 3).
- Badanie reakcji na ogień zadrukowanych masami własnymi paneli osadzonych w systemach elewacyjnych i ściennych z wełną i bez wełny mineralnej (R-ZB nr 25).

- e) Rozwiązywano problemy związane z platformą cyfrową do projektowania ustrojów akustycznych, paneli elewacyjnych i ściennych oraz interfejsem do przekształcania projektów bitmapowych i wektorowych na pliki sterujące procesem druku głowic jednocześnie rozwiązywano problemy związane oprogramowaniem sterującym pracami sześciu głowic drukarskich (R-ZB nr 27).
- f) Poszukiwano właściwej konstrukcji sześciu głowic do druku 3d ustrojów akustycznych, elementów przestrzennych, druku paneli elewacyjnych i do wnętrz realizujących zdefiniowane wcześniej efekty plastyczne (R-ZB nr 19, R-ZB nr 20, R-ZB nr 21, R-ZB nr 22, R-ZB nr 23, R-ZB nr 24).
- g) Rozwiązywano problem drukowania 3d skutecznych, estetycznych, spersonalizowanych, dedykowanych do wnętrza, odpornych na ogień ustrojów akustycznych pochłaniających i rozpraszających dźwięk. Ponad to podjęto problem drukowania i przebadania ustrojów akustycznych o swobodnej formie rzeźbiarskiej oraz scharakteryzowania zależności parametrów akustycznych od ich geometrii. W celu przetestowania możliwości techniki 3d zaplanowano wydrukować i zbadać klasyczny dyfuzor Schroedera o znanych parametrach (R-ZB nr 13) Postawiono problem wykorzystania właściwości druku 3D do przemiennego nakładania różnych materiałów na formach ustrojów akustycznych o różnych kątach z dużą precyzją wymiarową, a także możliwość drukowania osobnej geometrii dla każdego materiału w jednym ustroju akustycznym i w jednym cyklu produkcyjnym (D-ZB nr 9, D-ZB nr 10, D-ZB nr 11).
- h) Zbadanie możliwości wykorzystania metody elementów skończonych (FEM) do projektowania ustrojów akustycznych o przewidywalnych właściwościach akustycznych.
- i) W związku z większą ilością funkcji koniecznych do sterowania w porównaniu z dostępnymi na rynku modułami sterującymi zaprojektowano i wykonano „dekoder”.
- j) W związku z zapotrzebowaniem na masę o unikalnych właściwościach (reologia, skład, odpowietrzenie, forma dostarczania do głowicy drukującej, zaprojektowano, wykonano i przebadano system przygotowania mas.
- k) Dwanaście projektów ustrojów akustycznych w formacie stl.

3. Wyniki i wnioski. *(odpowiedź na pytanie badawcze, interpretacja wyników - zawiera wartościowanie)*

- a) Ze względów estetycznych oraz odporności na ogień zdecydowano wykorzystać do druku ustrojów akustycznych masy ceramiczne z dodatkami, wypalane w piecu w $t=1300^{\circ}\text{C}$. (R-ZBnr1, R-ZB nr5) Dodatki do mas pochłaniających dźwięk to drobne, organiczne i mineralne wypełniacze ulegające degradacji podczas wypału i tworzące pory o zamkniętej i otwartej strukturze. Natomiast dodatki mineralne nie ulegające degradacji uszczelniają masę czyniąc ją twardą, nie przepuszczalną dla dźwięku zdecydowano

przeznaczyć do mas odbijających dźwięk. Eksperymenty prowadzono z gliną ceramiczną „Dudziak” stosując w różnych proporcjach i zestawieniach wypełniacze takie jak: wermikulit, glinokrzemian magnezu, pył drzewny (arbocer), mikrosfera ceramiczna, szamot, kasza manna, mak spożywczy, granulat korkowy 0,2-0,5, piasek kwarcowy, mikrosfera 300/baza popiół lotny fly ash, perlit ekspandowany. Wszelkie dodatki do masy ceramicznej utrudniają druk z uwagi na uziarnienie, zbyt dużą lub małą lepkość, powodują przewracanie się wydruków lub zatykanie dysz. Przedmiotem badania były masy, proces druku 3d oraz zależność właściwości akustycznych od składu ilościowego i struktury masy ceramicznej powstałej w wyniku wypału.

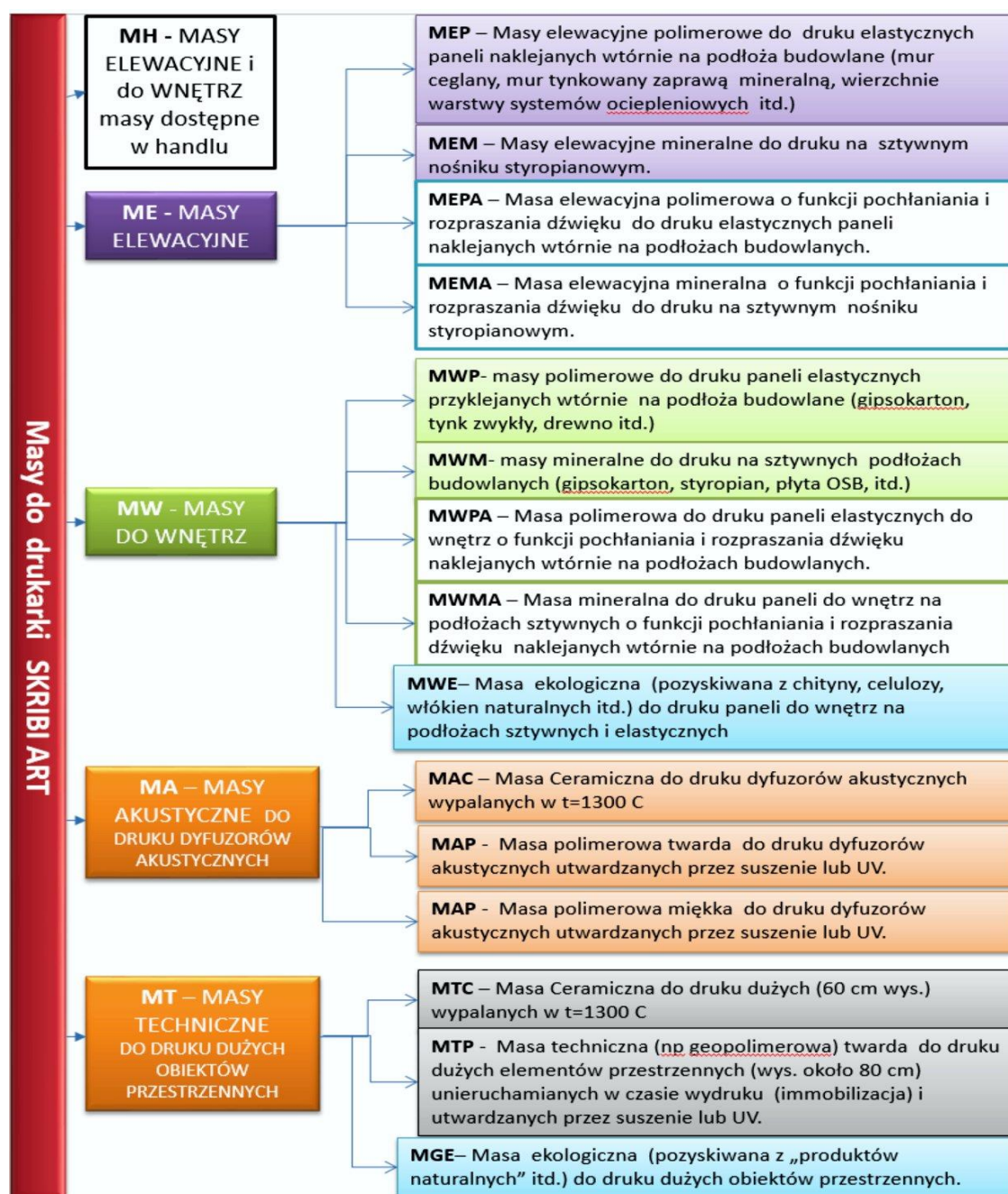


FOTO . Schemat mas akustycznych i elewacyjnych tworzonych w firmie 3dArtech na potrzeby budowanej drukarki 3d.

Wpływ na jakość i właściwości ustrojów akustycznych drukowanych z masy ceramicznej mają: wielkość dyszy, prędkość wydruku, retrakcja (polegająca na sterowanym cofnięciu podawanej masy, tak aby nie powstawały w miejscu zakończenia ścieżki zgrubienia, reologia masy (konsystencja), napowietrzenie masy, zawartość % frakcji akustycznych, rodzaj gliny (spoiwa), możliwość wprowadzania dodatków reologicznych (upłynniacze, zagęstniki). Trudno przewidzieć praktyczną przydatność wypełniacza bez eksperymentu mieszania, drukowania, wypalania i badań akustycznych masy ceramicznej w rurze impedancyjnej. Badania obejmowały: projektowanie mas o właściwościach pochłaniania i odbijania dźwięku, wykonywanie próbek mas do celów eksperymentalnych, druk 3d ustrojów akustycznych (suszenie, wypał w piecu), wykonanie i wypalanie próbek mas do badania w rurze impedancyjnej (wykonano 63 próbki o wymiarach $\phi=29$ mm, wys. 50 mm oraz 63 próbki $\phi=100$ mm, wys. 50 mm dla 21 mas ceramicznych) wypalonych w $t=1300^{\circ}\text{C}$ w rurze impedancyjnej, badanie 3 próbek mas ceramicznych wybranych mas zgodnie z normą *PN-EN ISO 10534-2:2003* (każde badanie to trzy próbki o wymiarach $\phi=29$ mm, wys. 85 mm oraz trzy próbki trzy próbki $\phi=100$ mm, wys. 50 mm) w rurze impedancyjnej Katedry Mechaniki i Wibroakustyki AGH w Krakowie.



FOTO. próbki przygotowywane do badań w rurze impedancyjnej.

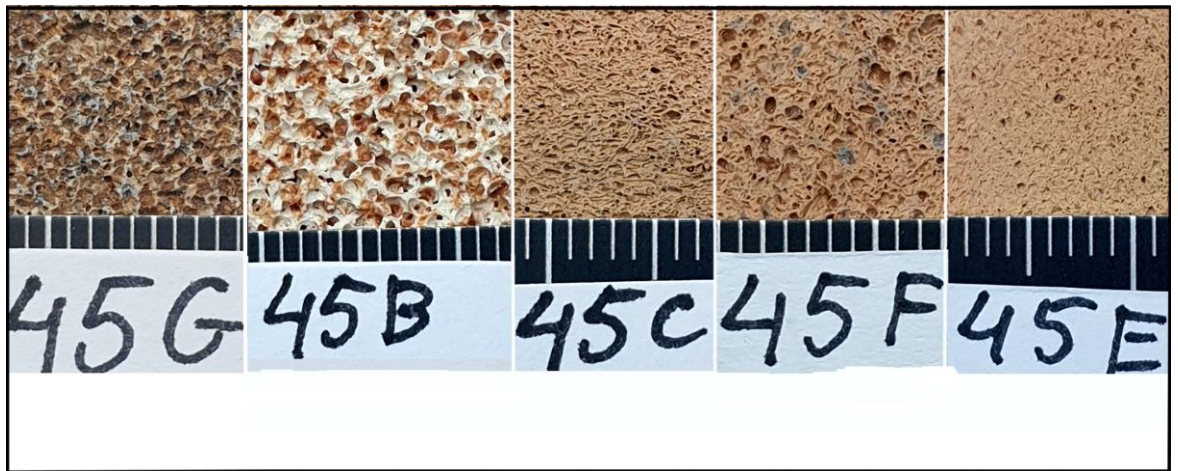


FOTO. Przekrój próbek mas po wypaleniu (bardzo wysoki współczynnik α masy 45G porównywalny do wełny mineralnej dzięki otwartym komórkom-podziałka milimetrowa).

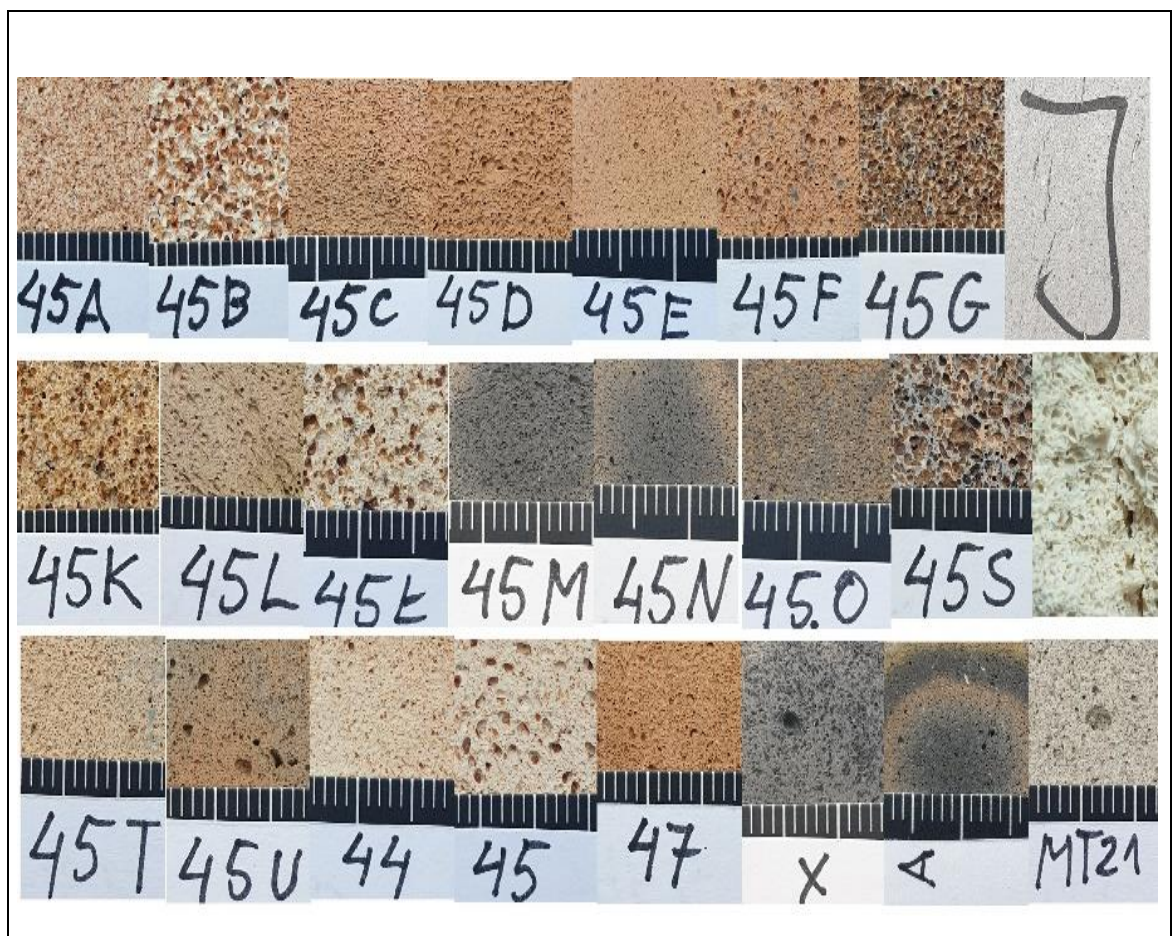




FOTO. Piec do wypału ustrojów akustycznych



FOTO. Rura impedancyjna do badania współczynnika pochłaniania dźwięku próbek $f_i=29$ mm i $f_i=100$ m

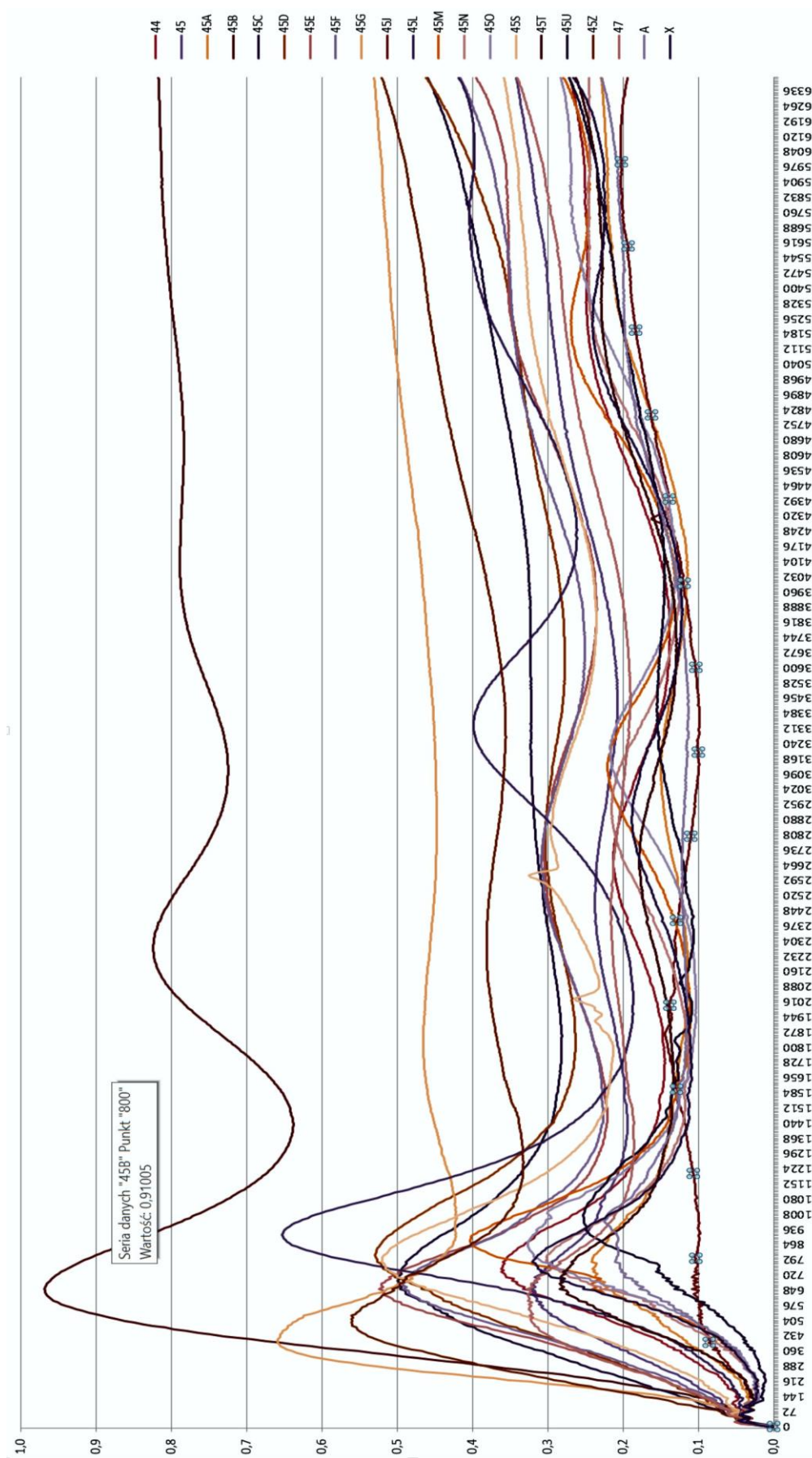


FOTO. Górny wykres dotyczy masy ceramicznej MA45B o współczynniku 0,95 dla częstotliwości około 500Hz i 0,8 dla średnich i wysokich. Wykres dolny oznaczony kropkami dotyczy gliny ceramicznej bez wypełniaczy i oscyluje wokół 0,1

Na wykresie widoczny współczynnik pochłaniania dźwięku badany w rurze impedancyjnej mas ceramicznych do druku 3d. Masa MA45B osiągnęła bardzo dobry współczynnik pochłaniania dźwięku porównywalny z wełną mineralną, dla częstotliwości 670 Hz pochłanianie wynosi 0,95, powyżej 1700Hz pochłanianie oscyluje od 0,7 do 0,8. Znakomity rezultat osiągnięto dzięki otwartym komórkom w których przebiega fala dźwiękowa tracąc po drodze swoją energię. Wyróżniającą się masą pod względem pochłaniania dźwięku jest MA45G z wysokim współczynnikiem $\alpha=0,67$ dla częstotliwości 450Hz i prawie płaskim przebiegiem o wartości od 0.45 do 0.55 dla częstotliwości od 650Hz do 6300 Hz. Dobre wyniki pochłaniania dźwięku wykazuje grupa mas: MA45C, MA45D, MA45E, MA45F, MA45G, MA45L, MA45S, których α zawiera się pomiędzy 0,25, a 0,4 dla częstotliwości od 200 Hz do 6300 Hz. Masy sporządzone do druku 3d ustrojów akustycznych odbijających dźwięk (MA44, MA45A, MA45J, MA45M, MA45N, MA45O, MA45T, MA45U, masa A, masa X) charakteryzują się większym pochłanianiem w stosunku do czystej gliny jednak znajdują praktyczne zastosowanie w druku 3d z uwagi na właściwości reologiczne i efekt wizualny (zwiększoną pochłanianie z uwagi na dodatki ułatwiające odpowietrzanie i leżność wykazują w zakresie od 300Hz do 1200 Hz sięgające nawet α 0,4 w pozostałym zakresie częstotliwości zawierają się w przedziale od 0.1 do 0.25)

- b) Postawiono tezę, że struktura wewnętrzna ustrojów akustycznych składająca się z kanałów o przekroju kilku milimetrów kwadratowych i spiralnym przebiegu może mieć znaczący wpływ na pochłanianie dźwięku (**R-ZB nr5**). W celu udowodnienia tezy wydrukowano w technice 3d FDM (z tworzywa sztucznego) trzy struktury o kanałach o przekroju kwadratu 3 mm X 3 mm: próbka nr 1 zbudowana jest z kanałów o przebiegu wzdłuż helisy z fakturą ścianek imitującą wydruk masą ceramiczną dyszą fi 3 mm, próbka nr 3 zbudowana jest z kanałów skręconych spiralnie wokół kanału środkowego o 180° również z fakturą ścianek imitującą wydruk masą ceramiczną dyszą fi 3 mm. Próbka nr 4 ma kanały proste, gładkie i wykonano ją jako odniesienie do struktur z fakturą ścianek i skomplikowanym przebiegu kanału. Na podstawie wykresu pochłaniania dźwięku dla trzech struktur wewnętrznych można zauważyć korelację pomiędzy każdą ze struktur.

Częstotliwość funkcji pochłaniania jest stała dla każdej z próbek i wynosi 1984 Hz z pierwszym maksimum przesuniętym w zależności od próbki. Dla próbki numer 1 pierwsze maksimum funkcji zarejestrowane zostało dla częstotliwości 680 Hz (długość fali 506 mm), dla próbki numer 3 dla 880 Hz (391 mm) i dla próbki numer 4 dla 1008 Hz (341 mm). Kolejne maksima rejestrowane są dla fal dłuższych od pierwszego szczytu o 173 mm. Warto zauważyć, że dla próbki numer 1 zarejestrowano zwiększone tłumienie dźwięku pomiędzy szczytami funkcji. Jest to związane ze strukturą wewnętrzną próbki powstałą w wyniku procesu projektowania.

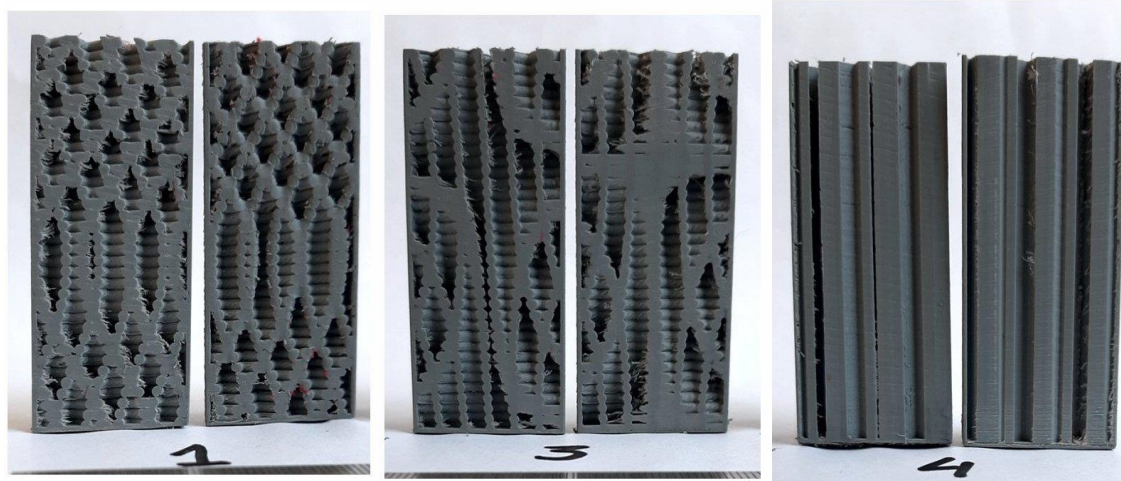
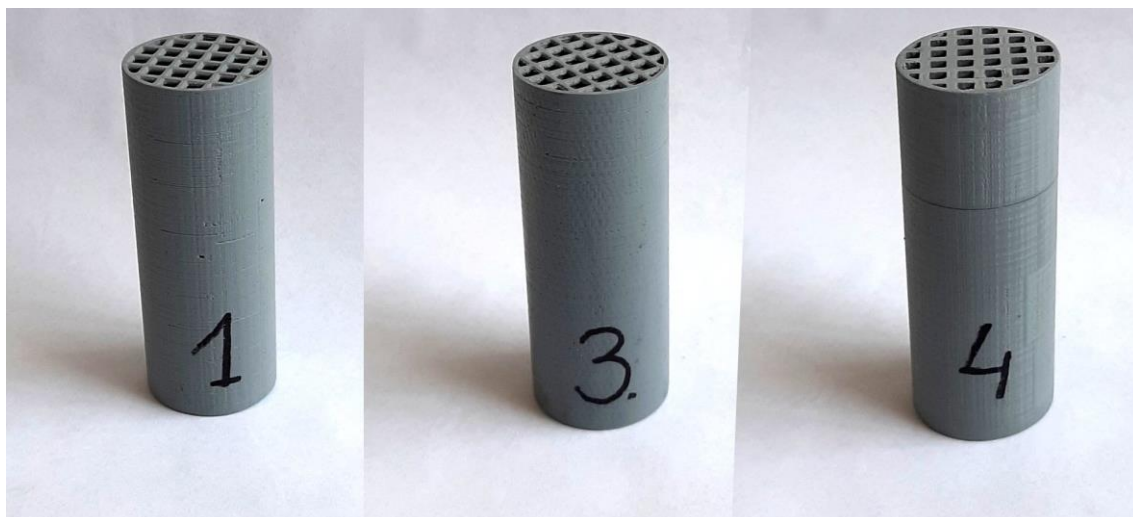


FOTO. Wydrukowane struktury do badań w rurze impedancyjnej, przekroje struktur wewnętrznych.

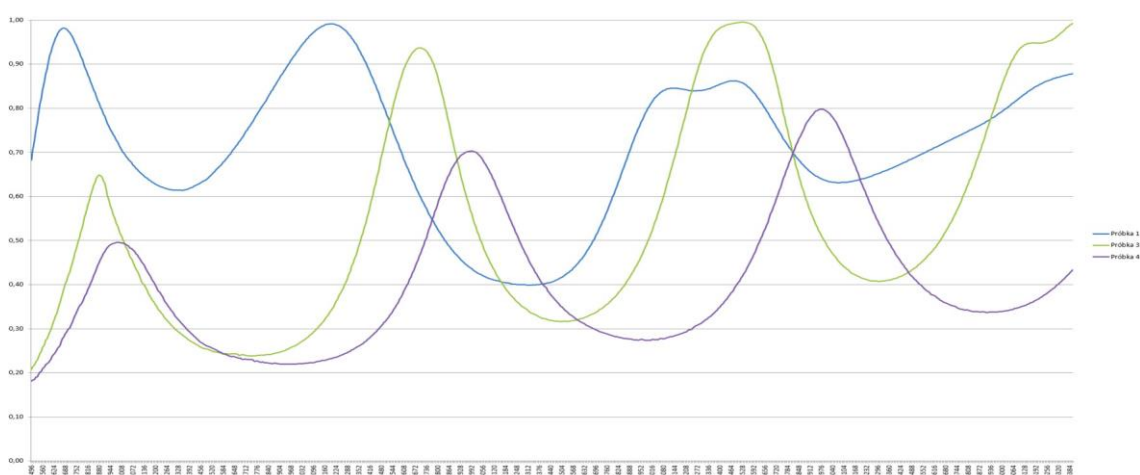


FOTO. Wyniki badania struktur w rurze impedancyjnej.

Należy założyć, że dla większych jednolitych powierzchni kształt charakterystyki tłumienia dla każdej z próbek powinien być niemal identyczny. Różnice związane z przesunięciem pierwszego maksimum tłumienia związane są z długością kanałów dźwiękowych. Z kolei tłumienie jest pochodną tej długości i można zauważyć liniową korelację pomiędzy wartością tłumienia i długością kanałów dźwiękowych. Struktura z kanałami prostymi (próbka numer 4) cechuje się liniowym zwiększaniem tłumienia wraz ze wzrostem częstotliwości, przy czym maksima zwiększają się trzykrotnie bardziej niż minima w każdym cyklu 1984 Hz. Taka zależność dla próbek z kanałami skręconymi (próbka numer 3) również jest zauważalna, przy czym po przeprowadzeniu krzywej pomiędzy maksimami można stwierdzić zależność wykładniczą malejącą dynamiki tłumienia. Tą samą zależność zauważa się dla próbki numer 4 w wyższych częstotliwościach nie przedstawionych na rys. ZB5A8RYS. Co do charakterystyki dla próbki numer 1 jest ona zniekształcona, co może mieć związek ze strukturą wewnętrzną kanałów. W tej sytuacji stwierdzenie wykładniczego wzrostu tłumienia w cyklu 1984 Hz nie jest możliwe. Na potrzeby użytkowego projektowania paneli pochłaniających dźwięk możliwe jest wykorzystanie różnych długości elementów składowych, które wysokimi maksimami mogą wyrównać poziom tłumienia dla całego zakresu żądanej częstotliwości. Struktura paneli powinna się składać z wielu pojedynczych elementów, każdy innej długości. Taki sposób projektowania rozwiązuje problem braku na chwilę obecną zmiany szerokości maksimów tłumienia.



FOTO. Próbki struktur „kratka” i „fala” z kanałami o przebiegu helisy wydrukowane akustycznymi masami ceramicznymi.



FOTO. Struktura „kratka”.

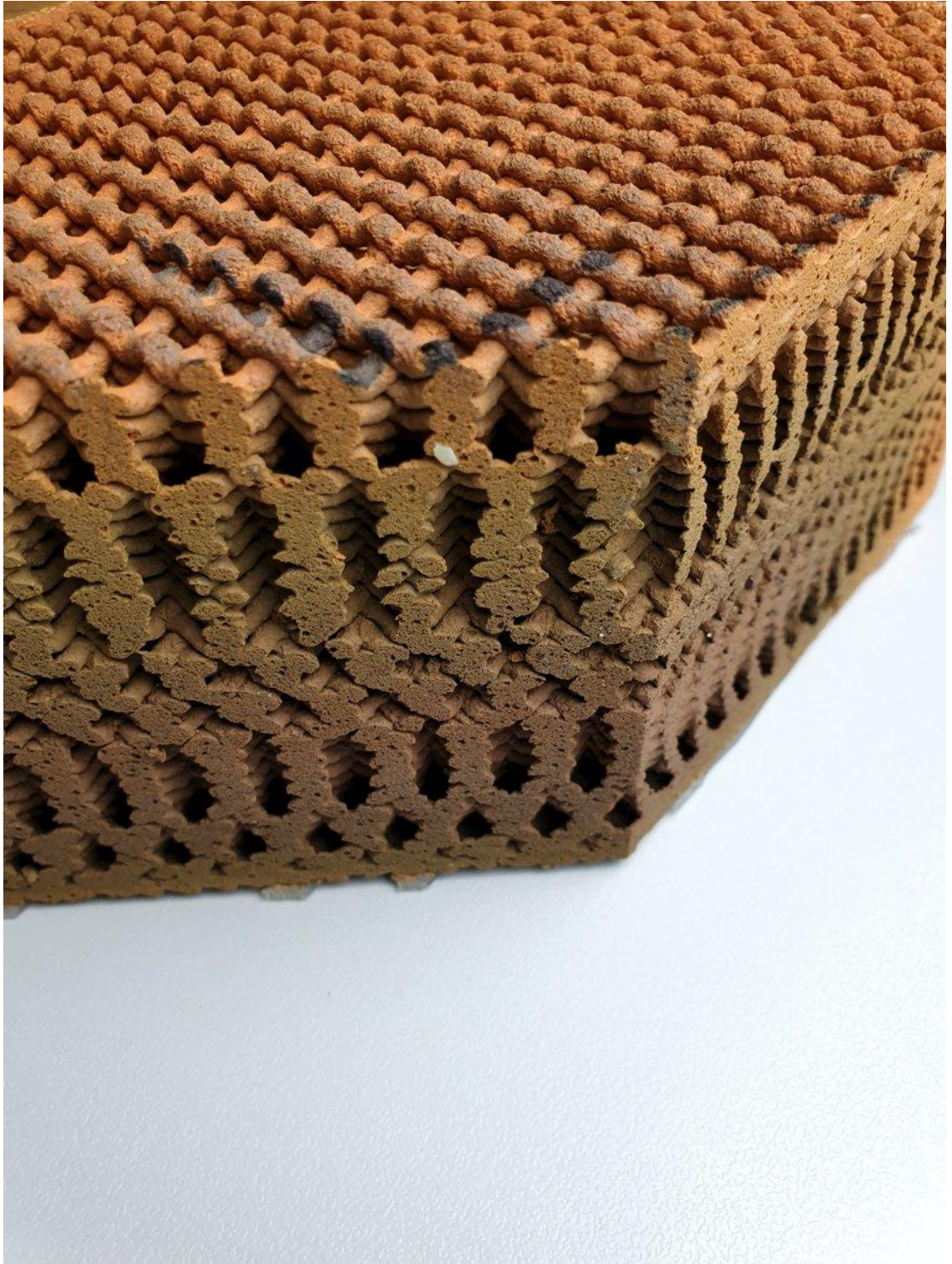
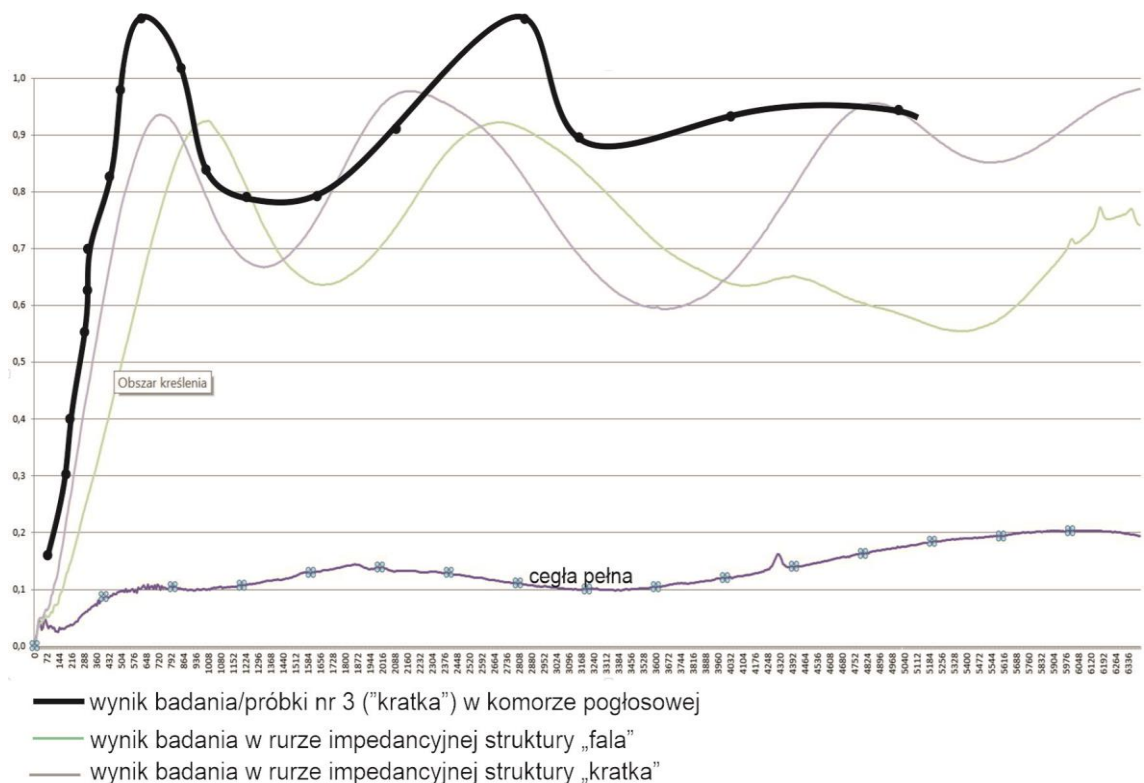


FOTO. Przekrój przez panel akustyczny ze strukturą „kratka”.



FOTO. Przekrój przez panel akustyczny ze strukturą „fala”.



Można zaobserwować podobne minima próbki nr 3 i nr 4. Wiąże się to z ilością prostych kanałów: w osi próbki nr 3 i wszystkich w próbce nr 4. Z badań struktur wykonanych z tworzywa sztucznego wynikało, że w celu zwiększenia pochłaniałości dźwięku celowe jest zastosowanie kanałów o ściankach z fakturą i biegnących po helisie. Przed drukiem ustrojów akustycznych wykonano próbki z masy ceramicznej o wysokim współczynniku α w celu wykonania badań w rurze impedancyjnej. Najkorzystniejszy wynik z uwagi na dużą pochłaniałość dźwięku i wytrzymałość mechaniczną uzyskano dla struktury „kratka” którego współczynnik oscylował wokół 0,9, wydrukowanej z masy z dodatkami organicznymi tworzącymi po wypale system komórek-kanałów o otwartych i cienkich ściankach.

- c) Kolejnym zadaniem po zaprojektowaniu i przebadaniu mas do druku ustrojów akustycznych było zaprojektowanie i przebadanie mas do druku sześcioma głowicami paneli wewnętrznych i elewacyjnych o wyraźnie większej elastyczności. Wykonano badania kilkudziesięciu mas polimerowych (R-ZBnr3) i geopolimerowych (R-ZBnr2). Masy do druku 3d powinny spełniać wymagania stawiane przez skomplikowany układ podawania i sterowania. Dla głowicy A drukującej pięcioma kolorami zaprojektowano masę stosunkowo płynną, ale utrzymującą kształt do wysokości 5 mm. Dla głowicy B zaprojektowano masy od gęstej drukowanej pod dużym ciśnieniem, aż do mas rozplwających się, zależnie od projektu. Dla głowicy C zaprojektowano masę o

konsystencji zbliżonej do masła o czasie tworzenia naskórka do dwóch godzin. Dla głowicy D zaprojektowano masę o małym ciężarze właściwym nawet około 0,5 kg/litr z uwagi na znaczne grubości drukowanych reliefów i małą skurczliwość mas dedykowanych do wnętrza. Dla głowicy E zaprojektowano masę o zdolności do zachowania ostrych brzegów do wysokości 4 mm i jednocześnie łatwego przylegania do podłoża przy dużej prędkości nakładania (zwiększona lepkość). Dla głowicy F zaprojektowano masę o małym skurczu, płynności i zdolności do pracy przez 2 godziny (brak naskórka). Wszystkie wykazują własności hydrofobowe, względną elastyczność, dobrą adhezję, zdolność do barwienia, nie rozprzestrzeniają ognia, posiadają zredukowany skurcz, zdolność do przechowywania w opakowaniach handlowych przez minimum 6 m-cy od daty produkcji. Podstawowymi składnikami mas polimerowych są żywice i moderatory: Vitroliq P-36, Alfrimal 104, Acronal, Lapożel, ActicideFS(N), Loxanol MI, biocydy, a wypełniaczami : kaolin, poraver, piasek, wodorotlenek glinu, mikrosfery, dolomit.

W związku z doskonałymi właściwościami betonów geopolimerowych podjęto udaną próbę zaadoptowania ich do druku 3d. W związku z doskonałymi właściwościami betonów geopolimerowych podjęto udaną próbę zaadoptowania ich do druku 3d. Geopolimery to termin obejmujący klasę nowoczesnych, badanych od lat 50. XX wieku nieorganicznych, amorficznych, syntetycznych polimerów – glinokrzemianów. Badania nad geopolimerami prowadzone są głównie w celu zastąpienia cementu portlandzkiego, a w konsekwencji użycia geopolimerów na szeroką skalę w budownictwie ze względu na ich unikalne właściwości. Geopolimery składają się z długich łańcuchów – kopolimerów tlenków krzemu i glinu i stabilizujących je kationów metali, najczęściej sodu, potasu, litu lub wapnia, oraz związanej wody. Masy geopolimerowe są najczęściej twardymi, odpornymi mechanicznie ciałami stałymi przypominającymi naturalny kamień lub beton. Większość metod syntezy geopolimerów sprowadza się do jednego procesu: rozdrobniony, wysuszony materiał pucolanowy (metakaolin lub popiół lotny) mieszany jest z wodnym roztworem odpowiedniego krzemianu (np. krzemianu sodu lub potasu) z dodatkiem silnej zasady – z reguły stężonego wodorotlenku sodu lub potasu. Powstająca pasta zachowuje się podobnie, jak cement – zastyga do twardej masy w przeciągu kilku godzin. Geopolimery charakteryzują się wysoką wytrzymałością, odpornością na ściskanie, która jest lepsza od betonów na bazie cementu portlandzkiego. Odpornością na zginanie, doskonałą odpornością chemiczną (np. na kwasy, siarczany czy chlorki). Doskonałą wodoodpornością (znacznie przewyższającą tradycyjny beton). Wysoką ogniotrwałością, nawet do temperatur rzędu 600 °C. W zależności od składu, szybkim lub bardzo szybkim wiązaniem, nawet w czasie poniżej godziny. Brakiem odkształceń podczas wiązania (w przeciwieństwie do tradycyjnego betonu) i znacznie ograniczonymi odkształceniami na skutek zmian wilgotności i temperatury.

Zaprojektowano kilkadziesiąt mas do druku 3d na bazie: Betolinu P-50, Vitroliq, Vinnapas 3030, Alfrimal 104, Tylovis SE 7, Lapożel z wykorzystaniem wypełniaczy: Silres BS Powder A, mikrosfery, kaolinu i piasku.

- d) Zbadano reakcje na ogień masy i wydrukowane panele elewacyjne i do wnętrz z wyjątkiem ustrojów akustycznych z masy ceramicznej, ponieważ zgodnie z Decyzją Komisji Europejskiej 94/611/WE wypalane wyroby ceramiczne nie wymagają badań ogniowych (R-ZB nr 25).

Wykonano badania paneli i mas na reakcję na ogień. W celu klasyfikacji materiału budowlanego z wyłączeniem posadzek wg wymagań PN-EN 13501-1 (klasa B, C, D) obejmują: badanie wg PN-EN 13823:2010 i badanie wg PN-EN ISO 11925-2:2010 (R-ZB nr 25).

Panele i masy osiągnęły klasę A i B :

- **Próbka nr 1.** *badanie zgodnie z normą PN-EN 13823* panel elewacyjny, elastyczny, *nazwa masy z jakiej wykonano relief:* zaprawa polimerowa ME4B producent 3dArtech. Materiał spełnienia wymagania dla klasy reakcji na ogień A2-s1,d0 **Materiał niepalny.**
- **Próbka nr 2.** *badanie zgodnie z normą PN-EN 13823* panel elewacyjny, na podłożu sztywnym, *nazwa masy z jakiej wykonano relief:* zaprawa geopolimerowa MT2A producent 3dArtech. *Spełnienie wymagań:* Klasa reakcji na ogień B-s1,d0 wg PN-EN 13501-1+A1:2010. **Jest materiałem niezapalnym, niekapiącym, niedymiącym.**
- **Próbka nr 3.** *badanie zgodnie z normą PN-EN 13823* panel ścienny na podkładzie sztywnym, *nazwa masy z jakiej wykonano relief:* zaprawa polimerowa ME4B producent 3dArtech. Materiał spełnienia wymagania dla klasy reakcji na ogień A2-s1,d0 wg PN-EN 13501-1:2019-02. **Materiał niepalny.**
- **Próbka nr 4.** *badanie zgodnie z normą DIN 4102-1* na klasy B1 i B2. Panel ścienny na podłożu sztywnym, *nazwa masy z jakiej wykonano relief:* zaprawa geopolimerowa MT2A producent 3dArtech. **Materiał spełnia wymagania dla klasy B1** normy DIN 4102-1:1998-05



FOTO. Druk próbek do badań na reakcje na ogień.



FOTO. Faktury próbki nr 1 i nr 2



Fundusze Europejskie
Inteligentny Rozwój



Rzeczpospolita Polska



Narodowe Centrum
Badań i Rozwoju

Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego





FOTO. Faktury próbki nr 3 i nr 4



Fundusze Europejskie
Inteligentny Rozwój



**Rzeczpospolita
Polska**



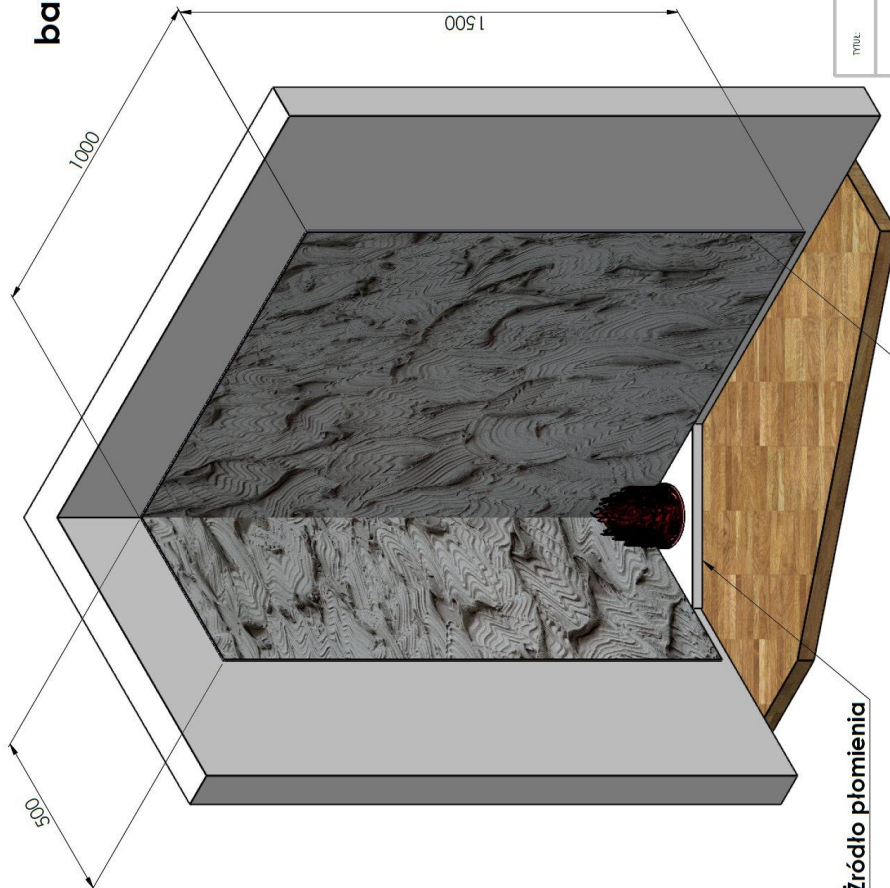
Narodowe Centrum
Badań i Rozwoju

Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego



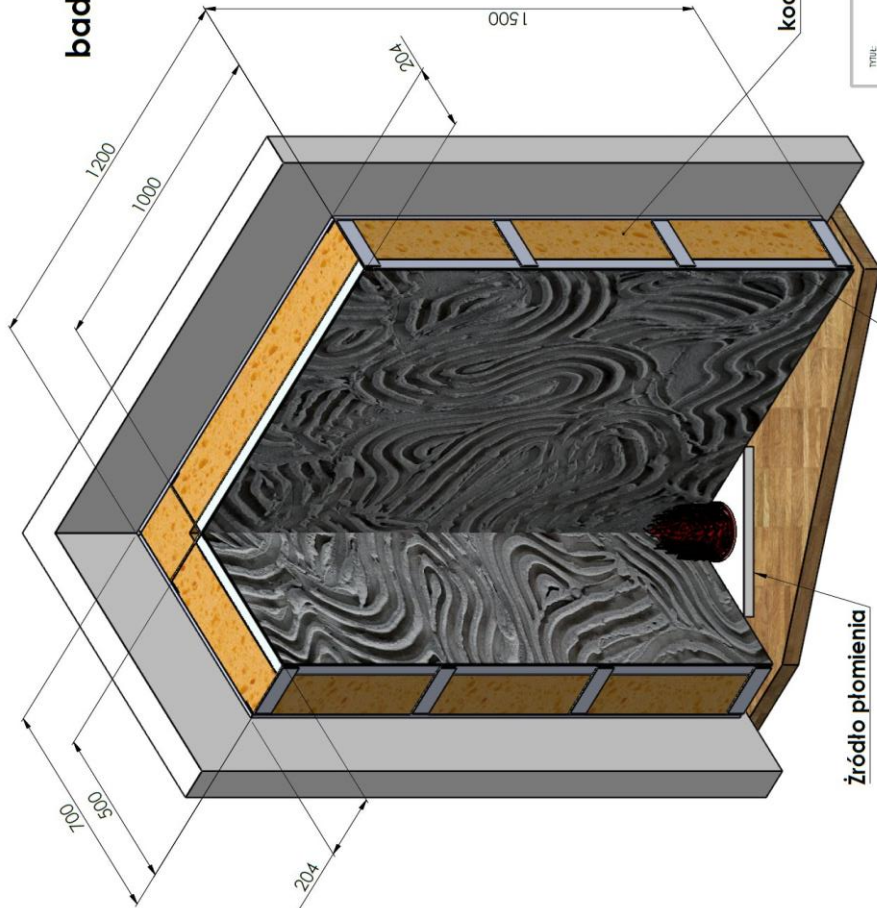


Próbka nr 1.
badanie zgodnie z normą PN-EN 13823



Tytuł:	Ścianka do badań ogniowych		
Nr próbki:	Próbka nr. 1		
Materiał:	Waga: 47729 g		
Spawidło:	Zawieszka:	3dArtech Sp. z o.o. Laboratorium Badawcze 25-415 Kielce ul. Górna 20	
Fundacja Rozwoju		Pracownia	Unia Europejska
Polska		BR	ARL02 1 21

**Próbka nr 2.
badanie zgodnie z normą PN-EN 13823**



**Wełna mineralna 150mm
SAINT GOBAIN Politer Max Plus
kod wyrobu: MW-EN13162-T5-WS-MU1-DS(70,90)-AFr5**

TITLE	Ścianka do badań ogniowych		
WYKONANIE	Próbka nr. 2		
MATERIAŁ	WAGA:	909 62 29	
SPRAWDZIŁ	ZAWIERCIŁ	3dArtech Sp. z o.o. Laboratorium Badawcze 25-415 Kielce ul. Górna 20	
3dArtech		3dArtech	
Unia Europejska		Unia Europejska	
Rzeczpospolita Polska		Rzeczpospolita Polska	
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju		Narodowe Centrum Badań i Rozwoju	
SKALA 1:20		ASBUST 1:1	

Źródło płomienia
Panel elewacyjny, na podłożu sztywnym
grubość reliefu 20mm
nazwa masy z jakiej wykonano relief:
zaprawa geopolimerowa MT2A
producent 3dArtech



FOTO. Badanie próbek nr 1, 2, 3 na reakcję na ogień zgodnie z normą PN-EN 13823 dla klasy A2-s1,d0

4. Klasyfikacja i jej zakres zastosowania

4.1. Powołanie klasyfikacji

Klasyfikacja została określona zgodnie z EN 13501-1:2018.

4.2. Klasyfikacja

Wyrób „Panel ścienny na podkładzie sztywnym, grubość reliefu 18 mm” w zakresie reakcji na ogień, uzyskał klasyfikację:

A2

Ze względu na wydzielanie dymu, wyrób uzyskał dodatkową klasyfikację:

s1

Ze względu na występowanie płonących kropli/cząstek, wyrób uzyskał dodatkową klasyfikację:

d0

Format klasyfikacji w zakresie reakcji na ogień dla wyrobów budowlanych, z wyjątkiem posadzek i wyrobów liniowych do termicznej izolacji przewodów, jest następujący:

Właściwości ogniowe		Wydzielanie dymu			Płonące krople	
A2	-	s	1	,	d	0

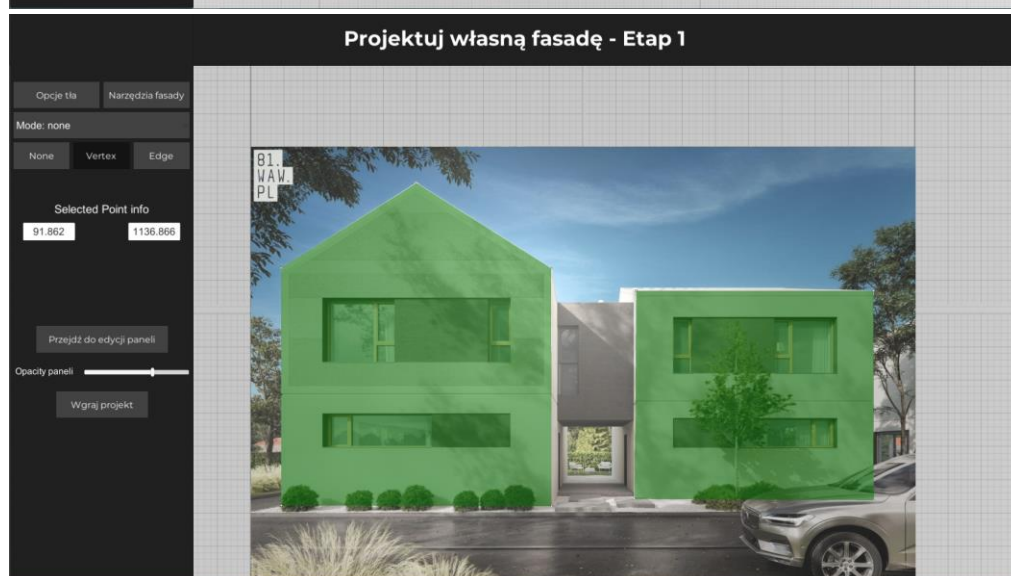
Klasyfikacja w zakresie reakcji na ogień: A2-s1,d0

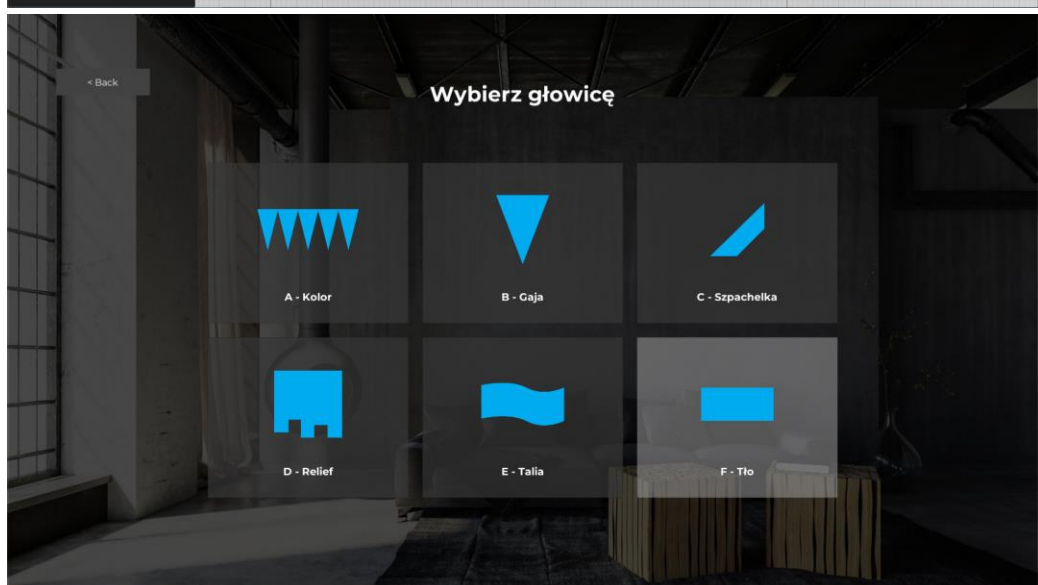
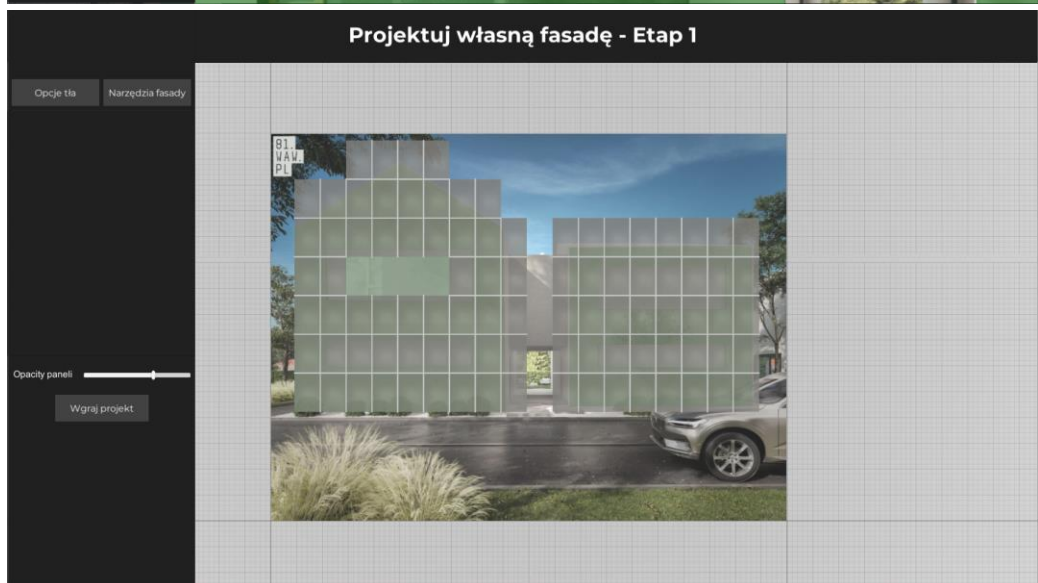
Niniejsza klasyfikacja obowiązuje dla zastosowań końcowych zgodnie z warunkami technicznymi, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Materiał niepalny - spełnienia wymagania rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 75, poz. 690 z 2002 r. z późn. zm.).

- e) Napisano program do projektowania paneli elewacyjnych, wewnętrznych i ustrojów akustycznych oraz do sterowania procesem druku sześciu głowic (**R-ZB nr 27**). Program modeluje na podstawie projektu graficznego efekty plastyczne właściwe dla sześciu opisanych w kamieniu milowym głowic oraz generuje konieczne do sterowania głowicami pliki G-CODE. Artysta lub architekt może obserwować w czasie rzeczywistym efekt działań narzędzi: szpachelek, głowic i dysz bezpośrednio na wirtualnej elewacji, a także alternatywne efekty plastyczne (szkice, próby). Ponadto istnieje możliwość projektowania na podkładzie w formie fotografii elewacji. Program umożliwia umieszczenie projektu w trzech kontekstach (wnętrze, willa, osiedle) w trójwymiarowej rzeczywistości z określeniem stron świata, pory dnia oraz symulowania oświetlenia sztucznego. Umożliwia import wcześniej przygotowanych projektów w formie plików wektorowych i bitmapowych. Zdecydowano się na architekturę opartą na funkcjonalności projektowanej maszyny. Każda głowica posiada własne okno edycji z przyciskami, funkcjonalnościami oraz informacjami. Wygląd ogólny okien i rozłożenie przycisków oraz komunikatów jest ujednolicone dla każdej głowicy. Podmoduły te są połączone ze sobą oknami głównymi następującymi po sobie sekwencyjnie. Pierwszym jest definicja projektu, a drugim wybór głowicy. Ponadto każdy graficzny moduł głowicy w trakcie pracy wywołuje moduły back-end odpowiadające za obliczenia i przekształcenia danych, a także za generowanie wyniku końcowego. Wszystkie dane końcowe generowane przez moduły back-end są zapisywane z poziomu front-end i tu wizualizowane.

Celem badania było opracowanie i wykonanie programu do odczytywania warstw w wirtualnych obiektach trójwymiarowych oraz ich opisanie w języku maszynowym GCODE celem realizacji. Obiekt powinien być skanowany z żądaną rozdzielczością, a warstwy tak uzyskane nie mogą się ze sobą przecinać. Istotnym było takie poprowadzenie ścieżki głowicy wykonującej z masy budowlanej fizyczną bryłę, aby wyeliminować niezgodności obiektu z jego wirtualnym odpowiednikiem.

FOTO (poniżej). Zrzuty z ekranu interfejsu własnego programu komputerowego do projektowania paneli elewacyjnych, wewnętrznych oraz ustrojów akustycznych. Fotografia elewacji, nanoszenie aktywnej i zwymiarowanej płaszczyzny do projektowania, nanoszenie elementów elewacji wykluczonych z druku (okna, drzwi), nanoszenie podziału elewacji wynikających z wymiarów drukowanych paneli, wybór głowicy i parametrów efektów plastycznych, wgranie pliku z projektem w formacie SVG, podgląd projektu na elewacji, symulacja efektów pracy drukarki.





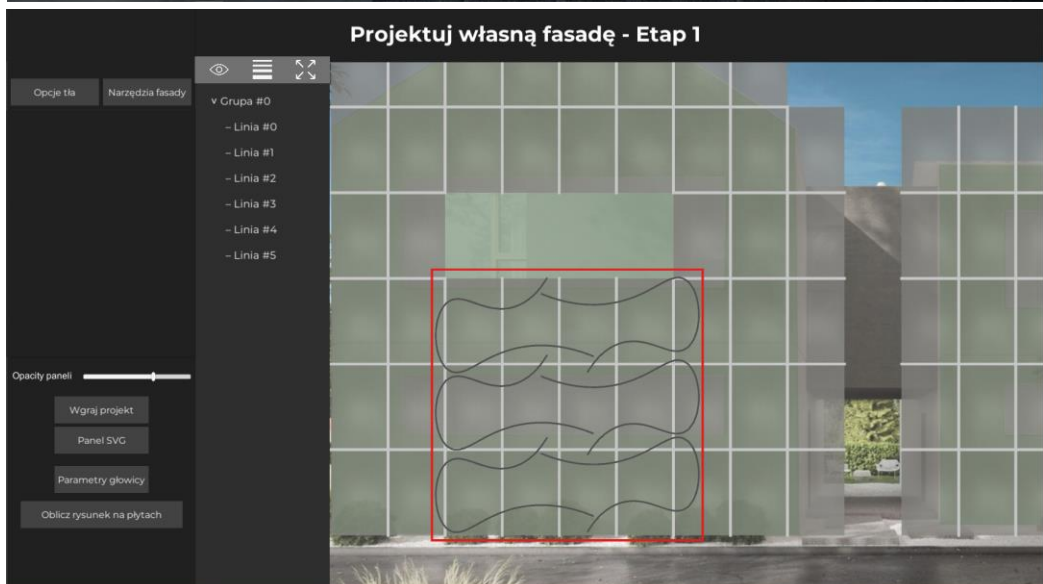
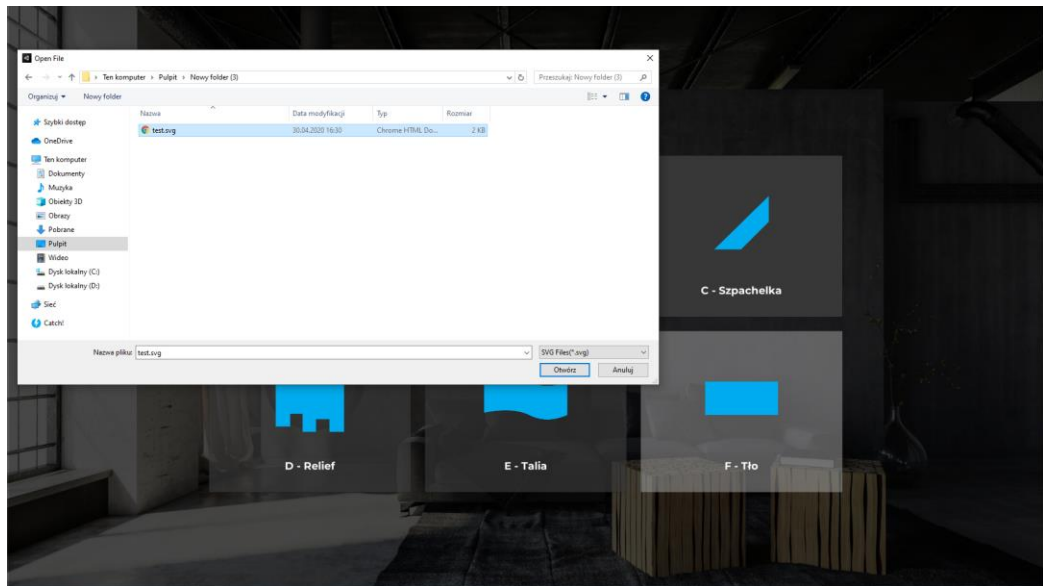
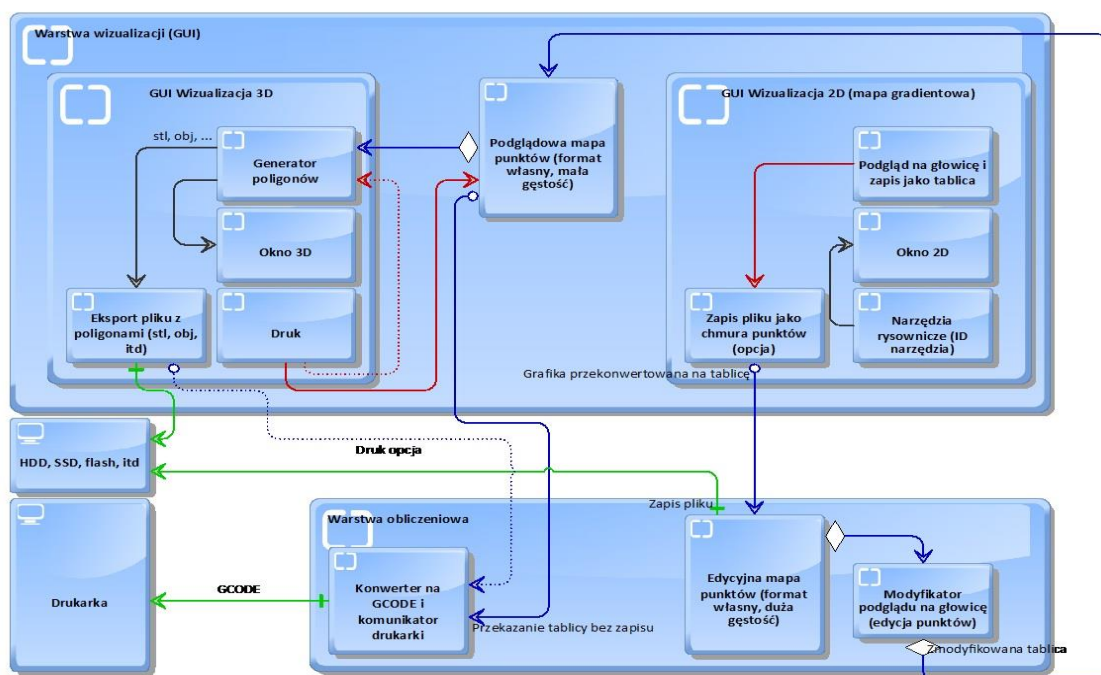




FOTO. Próba wydruku.

Budowa niezależnych funkcjonalnie modułów interfejsu z możliwością podmiany, usuwania i rozszerzania poszczególnych funkcjonalności zwiększa elastyczność i niezawodność systemu. Dodatkowo wprowadzono raportowanie z poziomu rozproszonych sterowników głowic do poziomu komunikacji i widoczne jest na interfejsie operatora. Wykonano szybką edycję mapy edycyjnej bezpośrednio w pamięci RAM bez konieczności jej zapisywania każdorazowo na dysku. Dopiero w chwili wyboru podglądu mapa ta jest zapisywana na dysku i przekazywana do warstwy back-end.



Tutaj jest przekształcana przez modyfikator podglądu do postaci mapy podglądowej i przekazywana następnie w nie zmodyfikowanej formie modułowi wizualizacji umiejscowionemu w warstwie front-end. W zakresie interfejsu użytkownika ostatecznie zdecydowano się na wybranie środowiska Unity jako frameworku, na którym w całości ma się opierać cały poziom front-end aplikacji. Środowisko to pozwala na elastyczne tworzenie modułów dzięki zaimplementowanemu interpreterowi języka wysokiego poziomu C#. Proces ładowania danych oraz wizualizacji realizowany jest w jednolitym środowisku i opiera się na wymianie informacji w warstwę back-end. Warstwa ta składa się z kilku modułów obliczeniowych podzielonych na dwie grupy. Pierwszą grupą są konwertery plików źródłowych na format edycyjny, drugą są modyfikatory wyglądu i zarazem generatory plików wynikowych. W warstwie front-end realizowane są następujące zadania: tworzenie projektów ze wszystkimi ustawieniami i plikami pomocniczymi, ładowanie i/lub tworzenie plików źródłowych, wybór podelementów do edycji plików źródłowych z przekazaniem tego pliku oraz parametrów edycji do warstwy back-end, wizualizacja oraz zapis wyniku końcowego odczytanego z plików wynikowych wygenerowanych przez warstwę back-end. W warstwie back-end realizowane są następujące zadania: odczyt plików źródłowych wraz z parametrami edycji przypisanymi całości lub poszczególnym podelementom, realizowana w postaci plików pośrednich lub wywoływania modułów obliczeniowych ze zdefiniowanymi parametrami, przetwarzanie pliku źródłowego zgodnie z parametrami wejściowymi lub tworzenie pliku wynikowego proceduralnie, zapisanie plików wynikowych, w tym opcjonalnych plików GCODE, oraz przekazanie wskaźnika do danych do warstwy front-end, walidacja danych źródłowych i przekazanie do warstwy front-end wyników w postaci numerycznej ze wskazaniem miejsca błędu, błędnej danej lub błędu parametru.

Z uwagi na specyfikę naszej drukarki 3d do mas (inna niż narzędzia CNC, drukarki 3d FDM lub tradycyjne plotery występujące na rynku) wprowadzono konieczne innowacje i adaptacje:

- dla głowicy A napisano program do analizy obrazu bitmapowego i konwertowania go do chmury wydrukowanych na panelu punktów składających się z pięciu barwnych mas tak, aby oglądany z pewnej odległości panel oddawał barwy oryginału. Dzięki losowemu lub zdefiniowanemu ułożeniu pięciu kolorów na płaszczyźnie tworzy się wtórny obraz. Metoda mieszania barw w oku widza, zastosowana w malarstwie impresjonistycznym została wzbogacona o nowe funkcje.
- wykorzystano również nigdzie indziej nie stosowaną metodę analizy koloru w otoczeniu pojedynczego klastra (grupa drukowanych pikseli) na jednej plamie barwnej w celu przeniesienia składowych kolorów na sąsiednią plamę barwną, aby uzyskać estetyczne scalenie wydruku (wszystkie kolory występują na całej płaszczyźnie, ale w różnych proporcjach).

- dla głowicy D napisano program obliczający objętość wyciskanej masy w zależności od zmiennej geometrii przekroju reliefu zależnego od obrazu źródłowego (projektu plastycznego).
- dla głowicy B i C napisano program, który wiernie wizualizuje (symuluje) pracę realnych narzędzi (szpachelki, dysze) na ekranie komputera. W tym celu obliczano w czasie rzeczywistym przemieszczanie się pojedynczych cząstek masy (zdefiniowanych jako węzły sieci) pod działaniem narzędzi.
- Z uwagi na ogromną różnorodność odmian plików SVG obecnych na rynku koniecznych do analizy projektów plastycznych pochodzących od projektantów, zdecydowano się na innowacyjną metodę konwersji plików tylko do zbioru linii wraz z informacją o ich współrzędnych, skalowaniu, grubości i kolorze (konwertowane są tylko informacje konieczne do drukowania masami). Możliwość powrotu do formatu SVG okazała się nową metodą bezstratnej kompresji danych.
- specjalnie na potrzeby sterowania głowicami C i E opracowano metodę definiowania kierunku ruchu i obrotu dyszy, z którego wynika szerokość drukowanego rastra w przypadku głowicy E na podstawie położenia trzech kolejnych punktów na trajektorii ruchu głowicy.
- w przypadku głowicy E okazało się niezbędne napisanie algorytmu przewidującego zużycie masy z wyprzedzeniem kilku milisekund z uwagi na bezwładność systemu zasilania w masę głowicy drukującej przemienne wąskie i szerokie linie rastra.
- dla głowicy E przygotowano program do konwertowania obrazów bitmapowych na rastry.

- f) Zaprojektowano i wykonano głowice (w kamieniu milowym jako A, B, C, D, E, F) do druku 3d oraz dokonano udanych wydruków w skali laboratoryjnej:

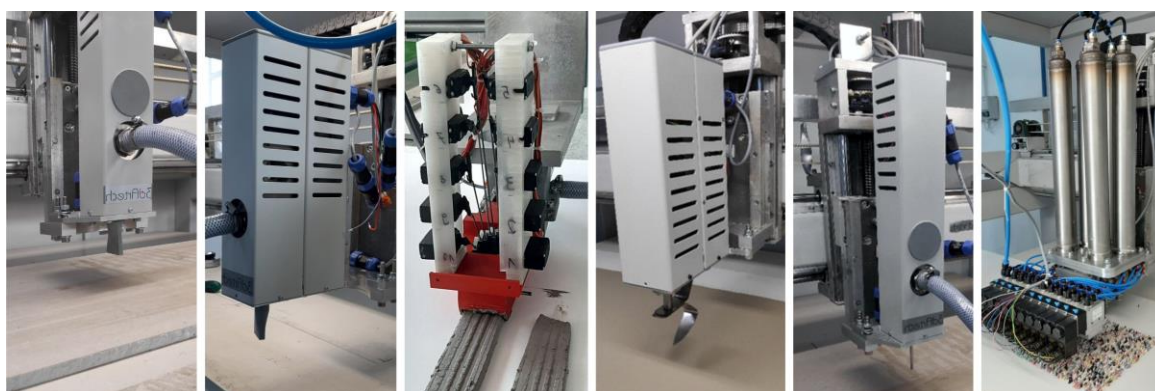


FOTO. Kolejno od lewej: głowica A do druku masami barwnymi, głowica B do druku wąskiej ścieżki masy, głowica C do wykonywania reliefów za pomocą szpachelki, głowica.

D do wykonywania wypukłych reliefów, głowica E do wykonywania wypukłych rastrów drukarskich, głowica F do wykonywania tła z masy elewacyjnej

- **Głowica A** do druku barwnych obrazów z fakturą tynku ozdobnego (**R-ZBnr19**) wraz autorskim oprogramowaniem do wykonywania projektów plastycznych i własnym programem sterującym procesem druku jest konstrukcją złożoną ze skomplikowanego systemu kanałów dla masy drukarskiej, której przepływ i dozowanie uruchamia system zaworów ze sprężonym powietrzem realizujących g-code maszyny. Efekt wydruku przypomina stosowane w architekturze sgraffito lub fakturowany tynk ozdobny. Dla głowicy A napisano program do analizy obrazu bitmapowego i konwertowania go do chmury wydrukowanych na panelu punktów składających się z pięciu barwnych mas tak, aby oglądany z kilku metrów panel oddawał barwy oryginału (plamki barw mieszają się w oku widza – puentylizm, malarstwo impresjonistyczne).

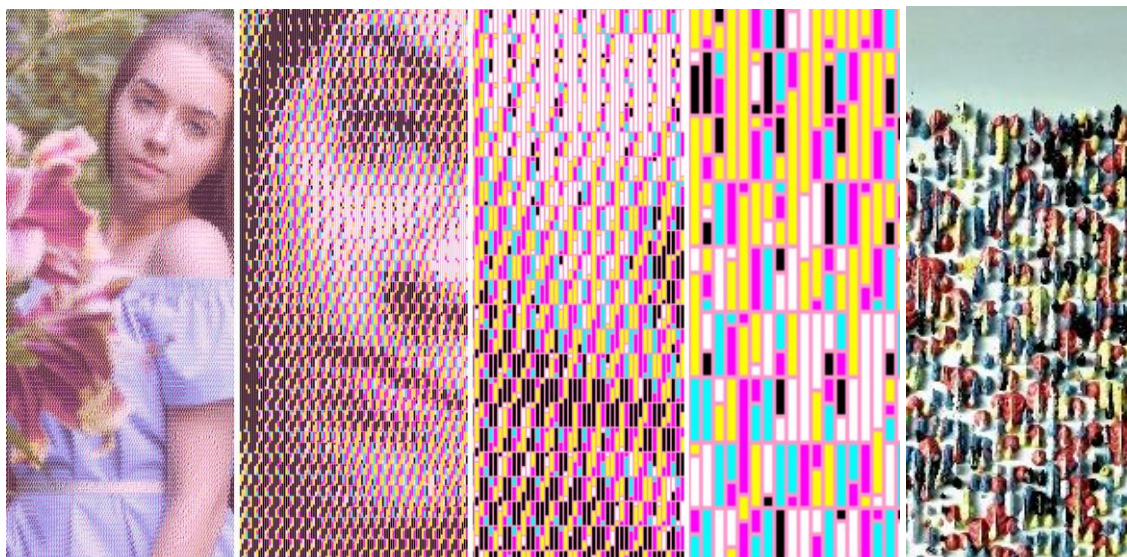
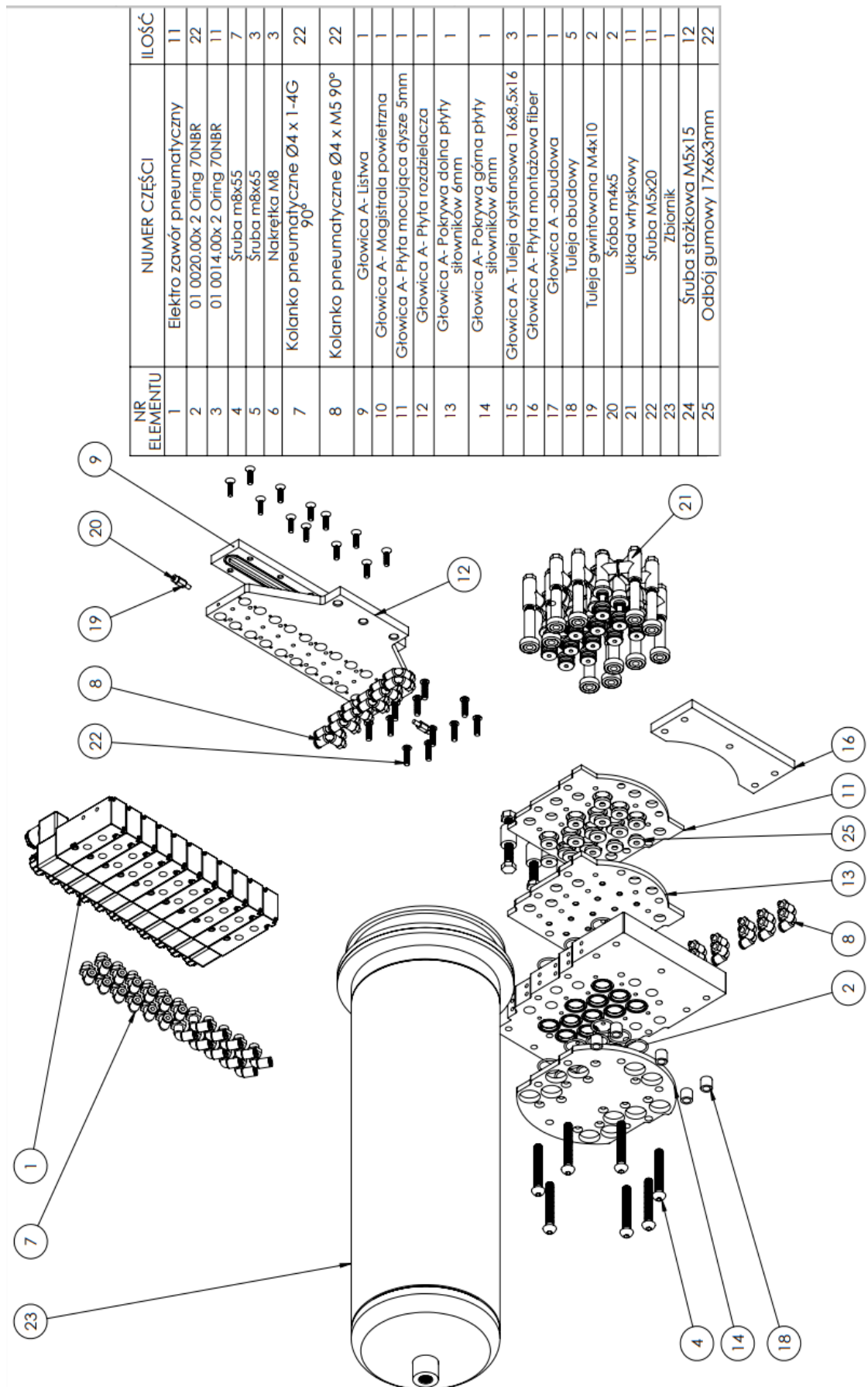


FOTO. Kolejne powiększenia panelu o oryginalnej wysokości 2,6 m oraz próbka rzeczywistego wydruku masą elewacyjną w pięciu kolorach.

Wysokość reliefu wynosi 1 - 5 mm przy dużej rozdzielczości w skali budowli (szerokość piksela wynosi 4 mm). Dzięki losowemu lub zdefiniowanemu ułożeniu pięciu kolorów na płaszczyźnie tworzy się wtórny obraz. Wykorzystano nigdzie indziej nie stosowaną metodę analizy koloru w otoczeniu pojedynczego klastra (grupa drukowanych pikseli) na jednej plamie barwnej w celu przeniesienia składowych kolorów na sąsiednią plamę barwną tak, aby uzyskać estetyczne scalenie wydruku (wszystkie kolory występują na całej płaszczyźnie, ale w różnych proporcjach).



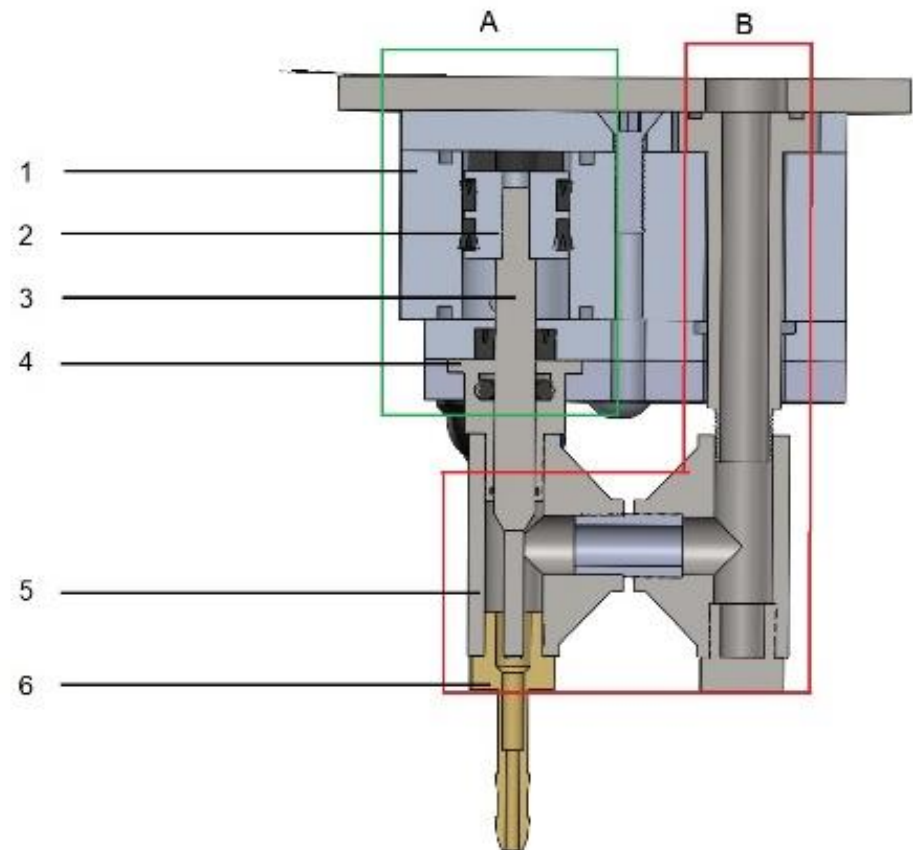


FOTO. Głowica A. Rysunek złożeniowy, przekrój przez układ dyszy drukującej.



FOTO. Głowica A. Dysze drukujące.



FOTO. Zrealizowaną, działającą głowica A.



Fundusze Europejskie
Inteligentny Rozwój



Rzeczpospolita
Polska



Narodowe Centrum
Badań i Rozwoju

Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego



Zaprojektowano metodę klastrowania o włączalny mechanizm wariacji kolorów z wykorzystaniem algorytmu permutacji. Klaster został zdefiniowany jako tablica o szerokości odpowiadającej liczbie kaset z masą dla głowicy A. Jest on wypełniany kolorami tych kaset zgodnie z kilkunastoma parametrami wejściowymi. Celem jest uzyskanie najlepszego odzwierciedlenia koloru i faktury barwnej obrazu źródłowego patrząc na wynik z oddali oraz jak największa wariacja kolorów i faktury patrząc z bliska.

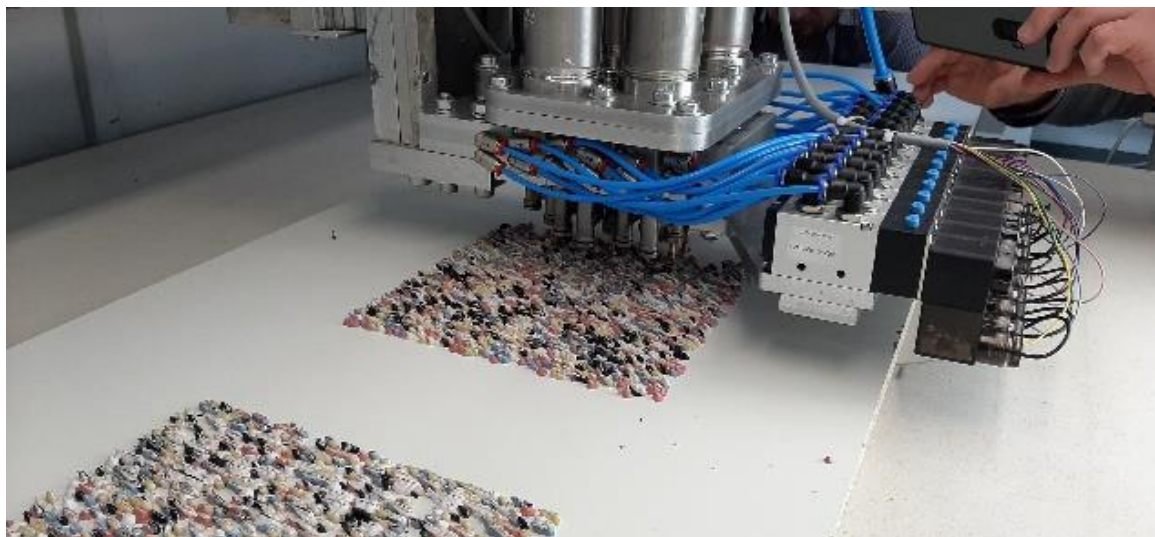


FOTO. Głowica pięciokolorowa podczas pracy.

Zastosowanie wielu parametrów wejściowych oraz sekwencyjnych algorytmów statystycznych pozwala uzyskać efekt niepowtarzającego się klastra nawet po kilkunastu i więcej uruchomieniach biblioteki DLL na tym samym źródle z identycznymi parametrami wejściowymi. W skali całego obrazu oznacza to, że każde wywołanie biblioteki generuje niepowtarzalny obraz, taki który w ujęciu makroskopowym jest taki sam, ale mikroskopowym jest i będzie niepowtarzalny. Istnieje możliwość druku nie tylko nasyconymi kolorami RGB plus czerń i biel, ale zdefiniowanymi przez użytkownika kolorami (palety architektoniczne) np., odcieniami szarości, brązu lub zieleni, a także kolorami występującymi na konkretnej budowlu w systemie RAL (kolory dachówki, stolarki okiennej, betonu, innych zastosowanych materiałów wykończeniowych). Opisane rozwiązanie jest nowatorskie. Nie ma na świecie podobnego urządzenia realizującego obrazy dla budownictwa i wystroju wnętrz masami tynkarskimi.

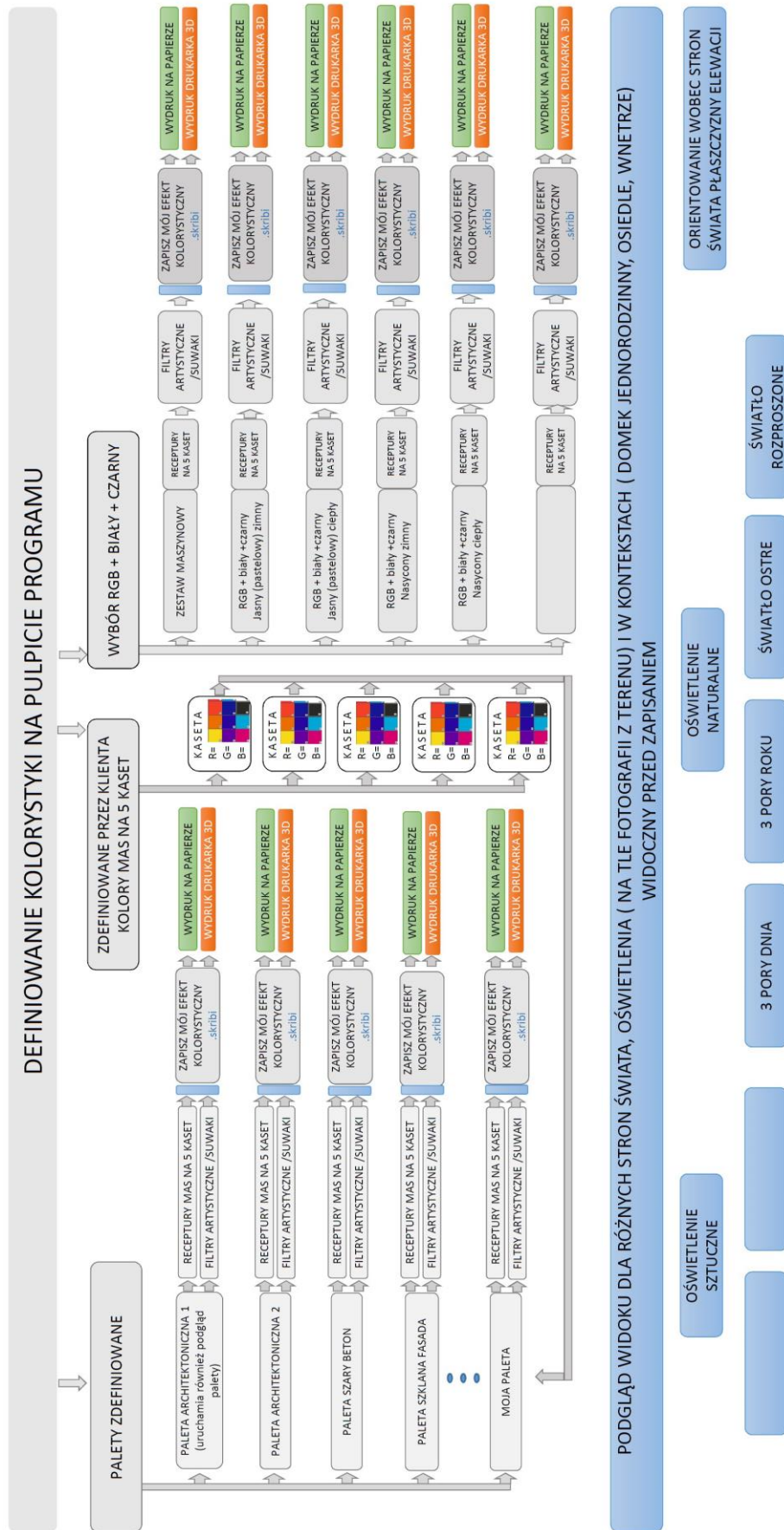


FOTO. Schemat przycisków programu konsolowego. Widoczne współzależności i sekwencje zadań prowadzących do druku panelu głowicą A.

Moduł klastująco-generujący został połączony z aplikacją główną poprzez skompilowanie do programu konsolowego wywoływanego z parametrami. Na schemacie tym umieszczono wszystkie pola parametrów wejściowych. W chwili obecnej parametry druku związane z masą oraz samą konstrukcją mechaniczną wpisane są w program w warstwę back-end. Wszystkie te parametry posiadają jednak własne zmienne, które mogą być odczytywane z pliku konfiguracyjnego. Plik taki ma zawierać właściwości fizyczne masy drukarskiej (wpływające na tłoczenie) oraz parametry druku (np. prędkość) i nastawy maszyny (mające wpływ na funkcje specjalne np. kolor masy).

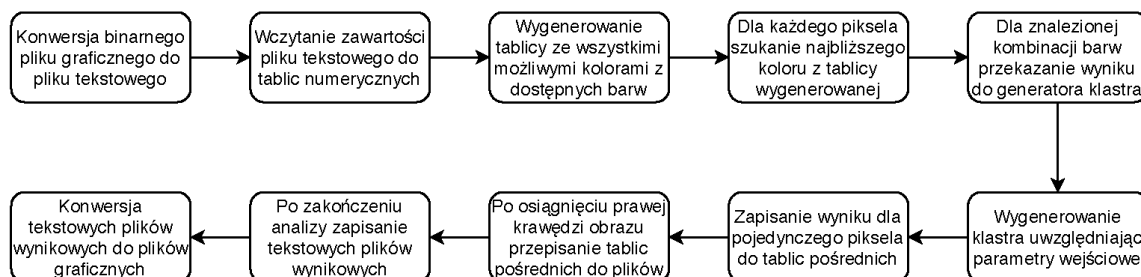


FOTO. Schemat logiczny działania programu do obsługi głowicy A.

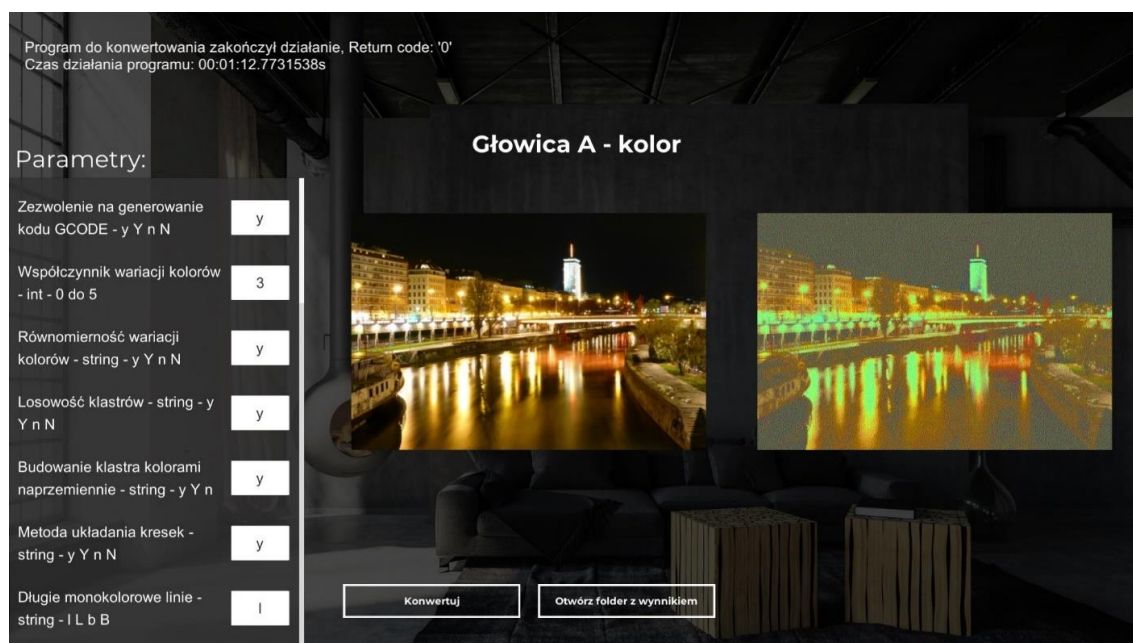


FOTO. Parametry wejściowe do modułu obliczeniowego definiowane są po lewej stronie. W oknie w centralnym miejscu znajduje się pole wyboru i podglądu obrazu źródłowego, po prawej stronie z kolei znajduje się pole podglądu obrazu przekonwertowanego. W dolnej części okna znajdują się przyciski konwersji z ustalonymi parametrami oraz skrót do folderu z wynikami. W górnej lewej części okna znajdują się informacje debugowania programu.

Biblioteka dynamiczna DLL do obsługi głowicy A pozwala na wiele możliwych rozwiązań końcowych za pomocą efektywnego przekazywania parametrów wejściowych oraz złożonemu mechanizmowi generowania obrazu piksel po pikselu. Okna konsolowe z adekwatnymi parametrami przygotowano dla każdej głowicy.

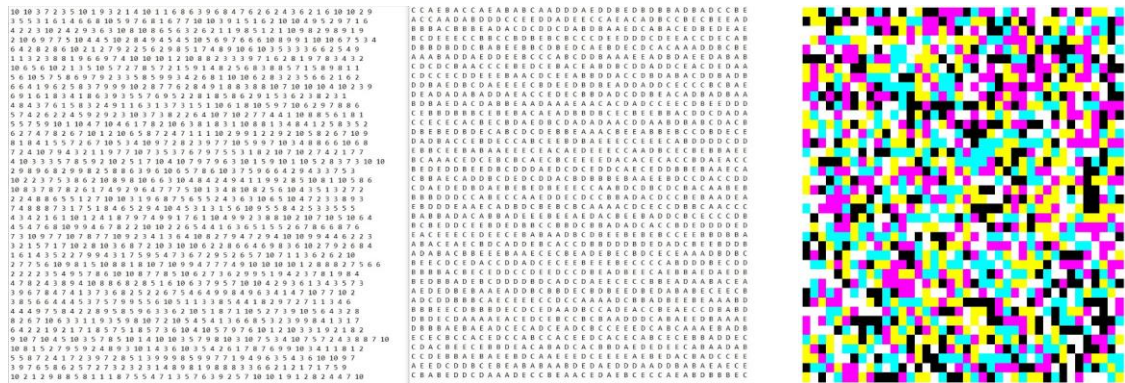
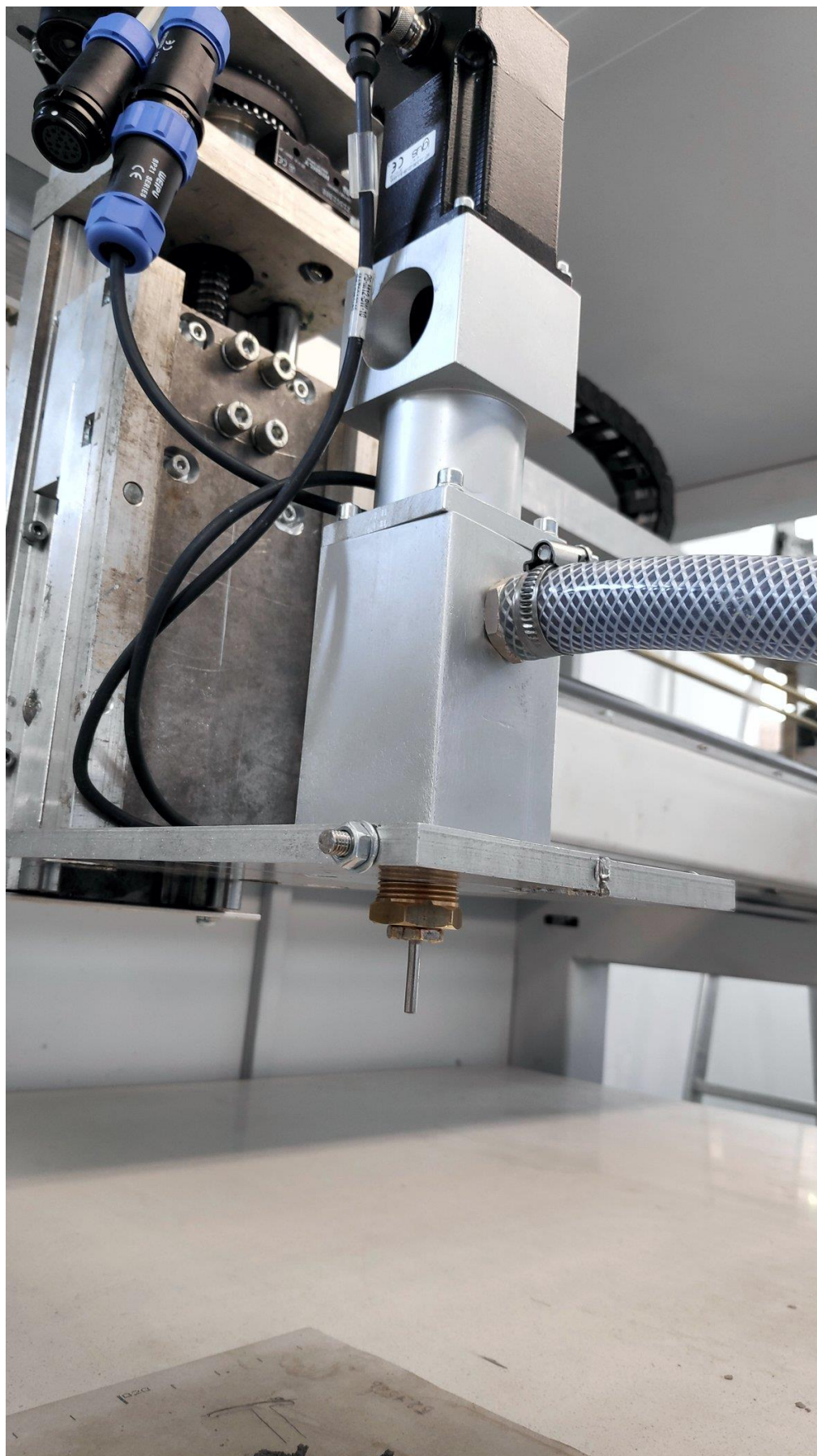


FOTO. Pseudolosowa tablica numerów dysz i przypisanych do nich kolorów. Oczekiwana tablica kolorów nie uwzględniająca kształtu nadrukowanego punktu.

-Zaprojektowano i zbudowano głowicę B (R-ZB nr 20) drukującą masą ceramiczną, geopolimerową lub polimerową, która będzie wytwarzała obiekty przestrzenne w tym ustroju akustyczne o sprecyzowanej szerokości ścieżki, wysokości i prędkości nakładanej warstwy (technologia addytywna, bezodpadowa) lub panele elewacyjne i do wystroju wnętrz.



FOTO. Druk ustroju akustycznego z gęstą strukturą wewnętrzną w formie małych kanałków drukowanych wzdłuż helisy.



Fundusze Europejskie
Inteligentny Rozwój



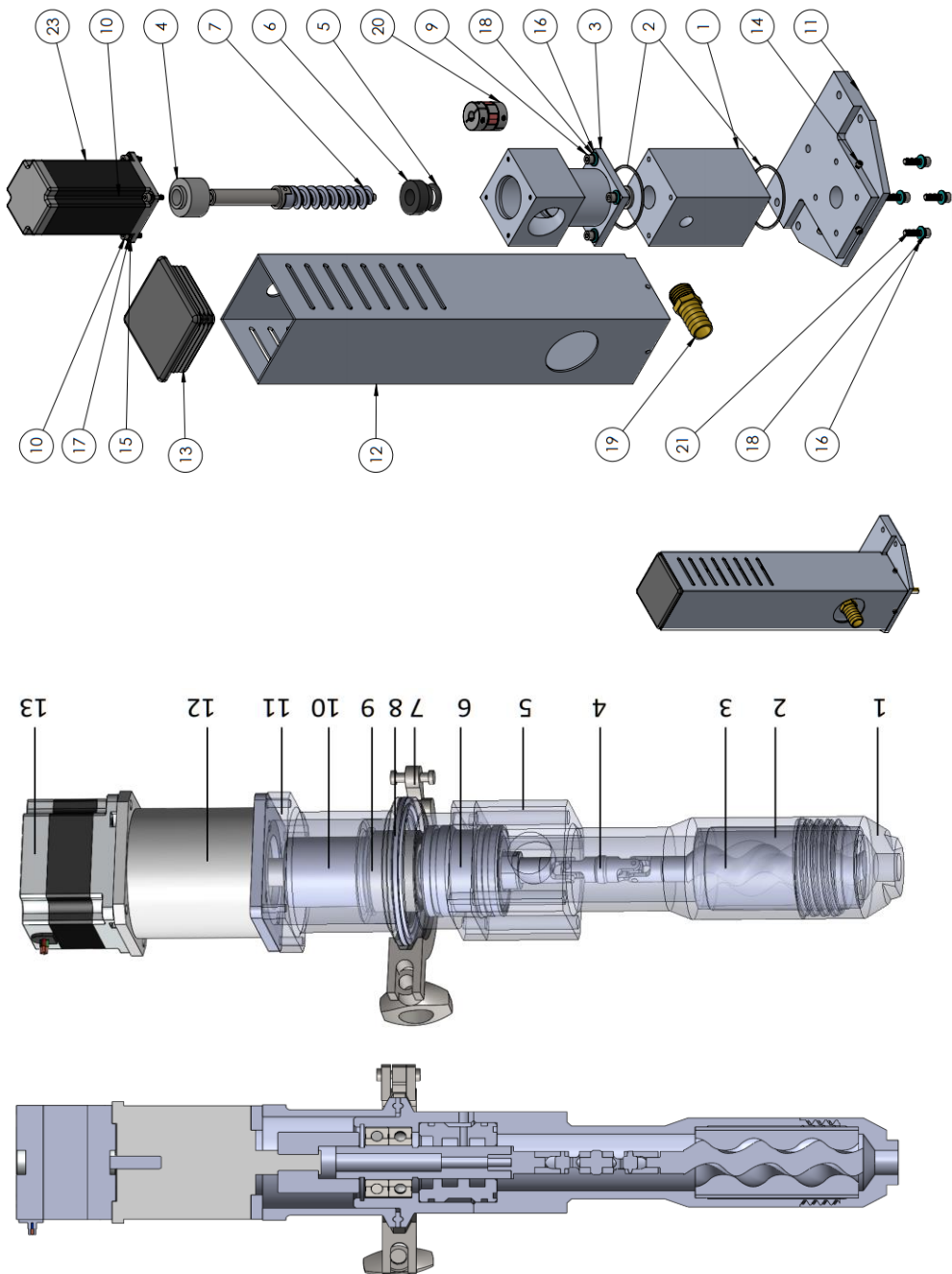
**Rzeczpospolita
Polska**



Narodowe Centrum
Badania i Rozwoju

Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego





NR ELEMENTU	NUMER CZĘŚCI
1	GŁOWICA B - KORPUS ALUMINIOWY ŚLIWAKA FI 50
2	ORING 52X2MM
3	GŁOWICA B - OBLUDOWA SPRZĘGLA
4	GŁOWICA B - ŁOŻYSKO ŚLIWGOWE
5	ORING 14X3MM
6	SIMERING 14X30X10
7	ŚLIWAK
8	PODKŁADKA
9	SRUBA M5X15
10	SRUBA M4X15
11	GŁOWICA B - PŁYTA MOCUJĄCA
12	GŁOWICA B - PROFIL 80X80X2
13	GŁOWICA B - ZASŁEPKA 80X80
14	SRUBA M3X10
15	PODKŁADKA M4
16	PODKŁADKA M5
17	PODKŁADKA SPRZĘŻNIJĄCA M4
18	PODKŁADKA SPRZĘŻNIJĄCA M5
19	NYPEL 3/4 CAL (POWIERZIE)
20	SPRZĘGŁO KŁOWE BEZŁUTOWE D25 L30
21	SRUBA M5X20
22	GŁOWICA B - DYSZA 3mm
23	SILNIK KROKOWY NEMA23. 113mm

FOTO. Pompa ślimakowa i kawitacyjna oraz rysunek złożeniowy głowicy B..

Zrealizowano założenie drukowania różnymi masami (spoiwa gęste, lepkie i rzadkie, wypełniacze do 0,9 mm, zróżnicowana reologia, niejednorodność) dzięki stosowanej wymiennie pompy ślimakowej lub kawitacyjnej, a także określono optymalne dla procesu druku geometrie ślimaków, rotorów i statorów pomp oraz parametry druku dla oznaczonych mas i reologii. W zakresie badań skonstruowano systemy wspomagające druk w postaci ultradźwięków oraz kontrolerów optycznych ciągłości podawanej masy. Wykonywana ścieżka głowicą B ma tolerancję szerokości $\pm 0.5\text{mm}$ przy prędkości druku do 2000mm/min.

Z uwagi na ogromną różnorodność odmian plików SVG obecnych na rynku koniecznych do analizy projektów plastycznych pochodzących od projektantów, zdecydowano się na innowacyjną metodę autorskiej konwersji plików tylko do zbioru linii wraz z informacją o ich współrzędnych, skalowaniu, grubości i kolorze (konwertowane są tylko informacje konieczne do drukowania masami). Możliwość powrotu do formatu SVG okazała się nową metodą bezstratnej kompresji danych. Specjalnie dla głowicy B i C napisano innowacyjny program, który wiernie wizualizuje (symuluje) pracę realnych narzędzi (szpachelki, dysze) na ekranie komputera. W tym celu oblicza się w czasie rzeczywistym przemieszczanie się cząstek wirtualnej masy pod działaniem narzędzi (zdefiniowanych jako węzły sieci).

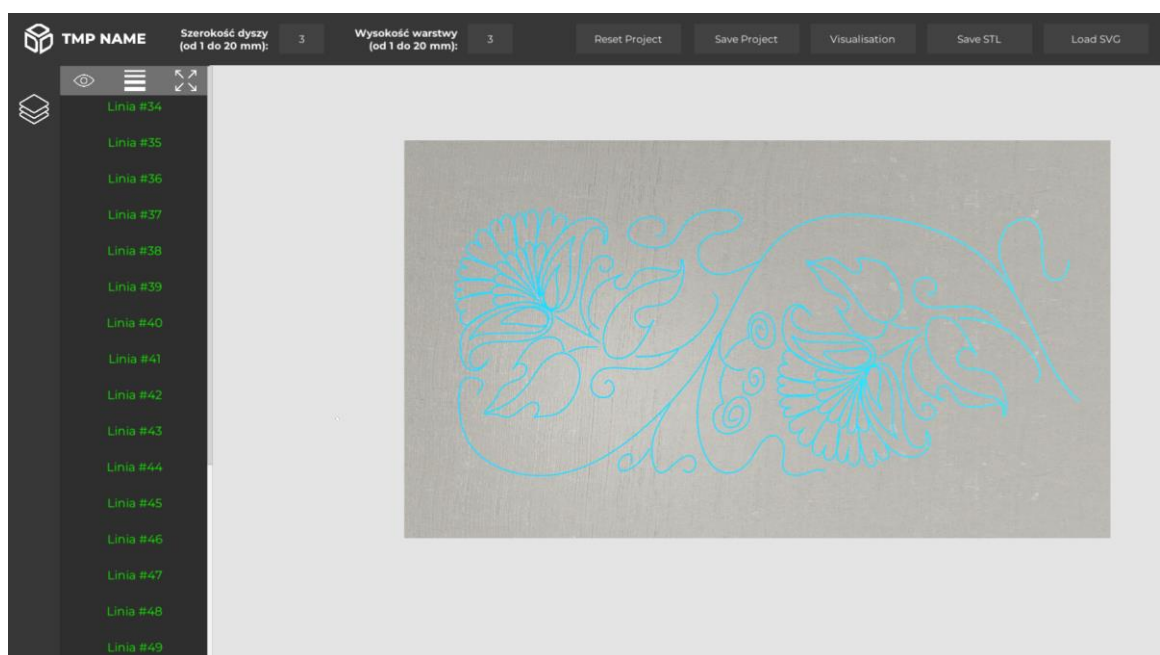


FOTO. Ścieżka widziana w programie generującym kod wykonawczy.

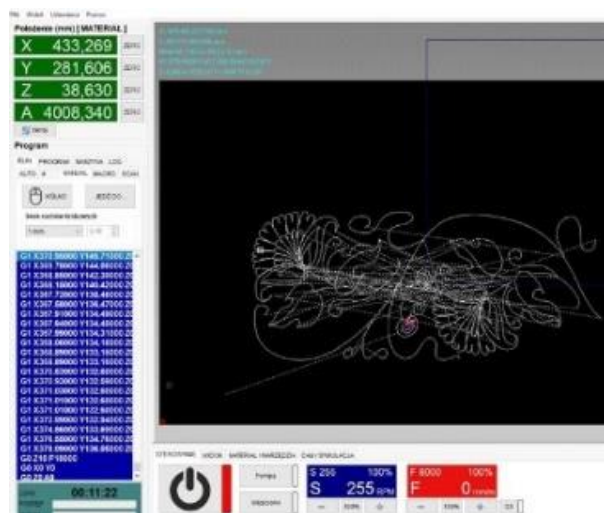


FOTO. Interfejs do druku paneli elewacyjnych z widoczną trajektorią ruchu, próbka wydruku panela dekoracyjnego.

-Zaprojektowano i wykonano głowicę C (R-ZB nr 21),

która umożliwia tworzenie zgodnie z projektem plastycznym zapisanym w formie cyfrowej, reliefów na panelach dekoracyjnych za pomocą obrotowej szpachelki pozostawiającej ślad na powierzchni wcześniej nałożonej masy, dając efekt płaskorzeźby wykonywanej ręcznie. Głowica ułatwia realizację projektu artystycznego przełożonego na zestaw komend sterujących ruchem szpachelek tak, aby zastąpić pracę ręczną w przypadku gdy w grę wchodzi dekoracja kilkudziesięciometrowej elewacji.

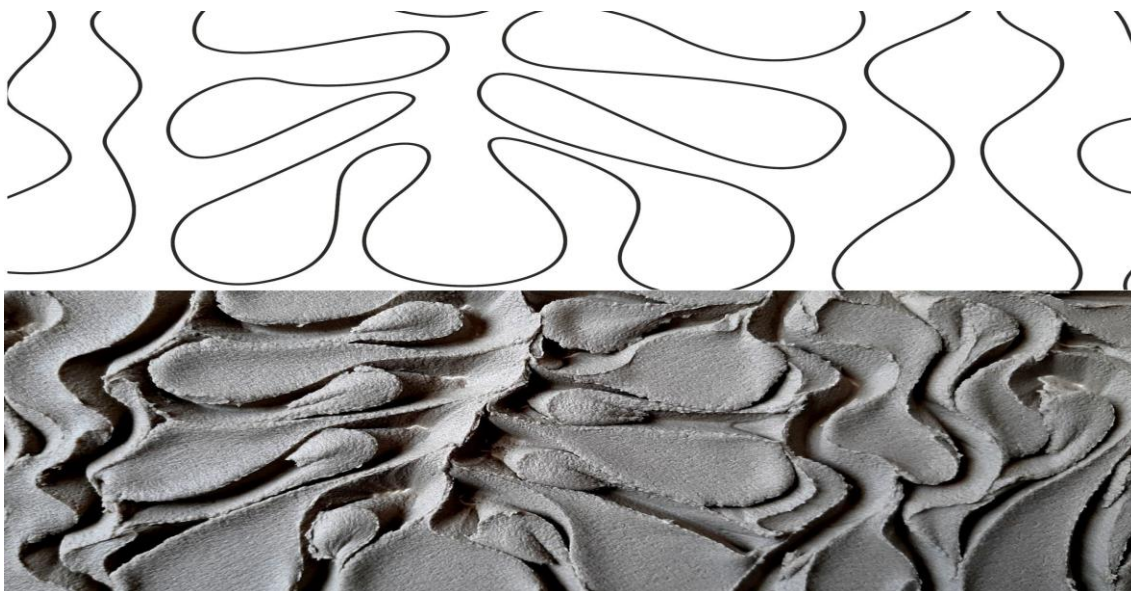


FOTO. Wydruk próbny panelu dekoracyjnego, zbliżenie na projekt panelu w formacie SVG, efekt pracy głowicy ze szpachelką w formie trójkąta (kształty szpachelek wymienne).

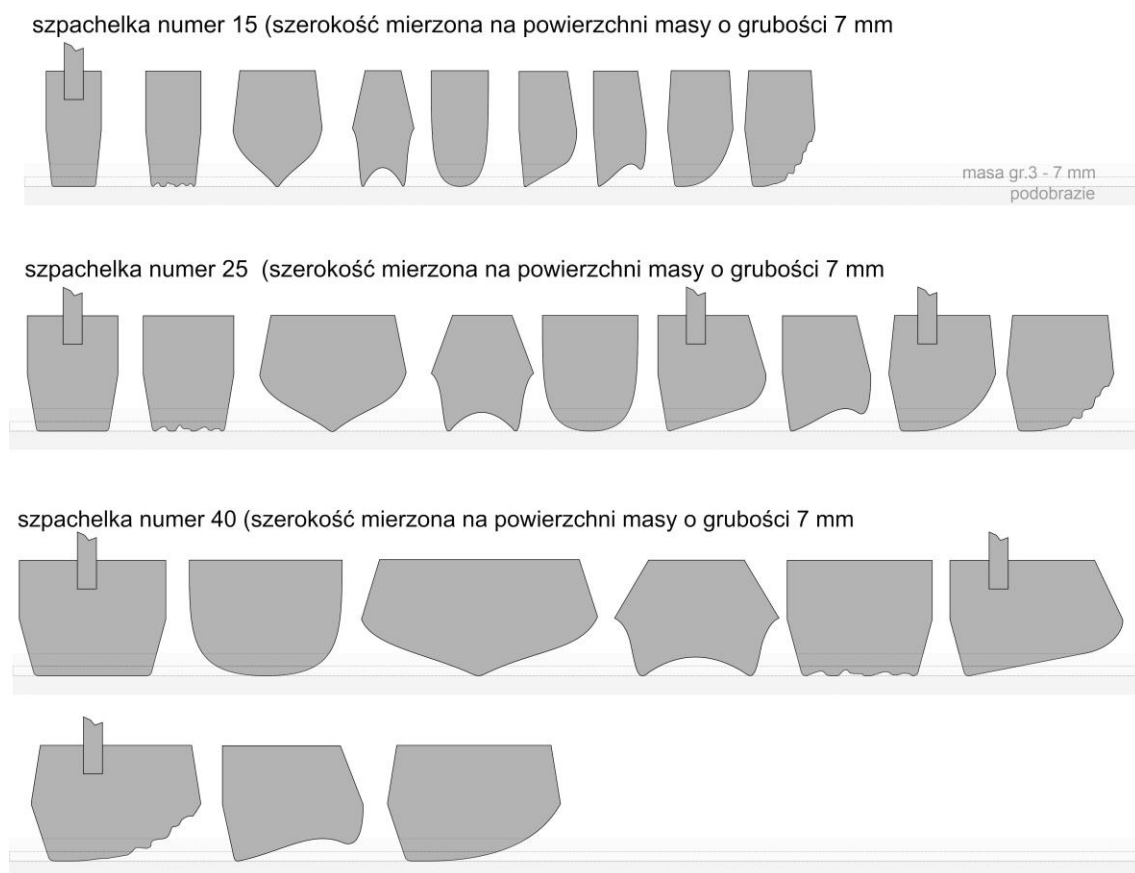


FOTO. Głowica C-rysunek, kształty narzędzi-szpachelek do wykonywania reliefu.

Automatyczny, powtarzalny i wydajny ruch szpachelki jest zaletą w przypadku struktur/faktur realizowanych na dużych architektonicznych płaszczyznach. Wykonano końcówki narzędzia o szerokość od 5 do 20 mm, przy szybkości pracy głowicy do 130 mm/s. Wykonane wydruki w pełni pokrywają się z zaplanowanymi ścieżkami ruchu. W wydrukach testowych osiągnięto wysokość reliefu do 14 mm. Możliwość montażu szpachelek o różnorodnym kształcie i szerokości. Jako układ sterujący zastosowano sterownik silnika krokowego M542 zasilany napięciem do 50 VDC i generujący maksymalny prąd wyjściowym dla silnika krokowego 4.2 A, wraz z 6-cio osiowym sterownikiem CNC CSMIO-IP-S wraz z oprogramowaniem sterującym SIM-CNC. Układ wykonawczy głowicy składa się z kilku elementów, są to silnik krokowy, dwa gniazda przyłączeniowe, układ generowania ultradźwięków oraz dwa wentylatory chłodzące. Sposób połączeń elektrycznych przedstawia poniższy schemat.

FOTO poniżej. Zrealizowana głowica B.



Fundusze Europejskie
Inteligentny Rozwój



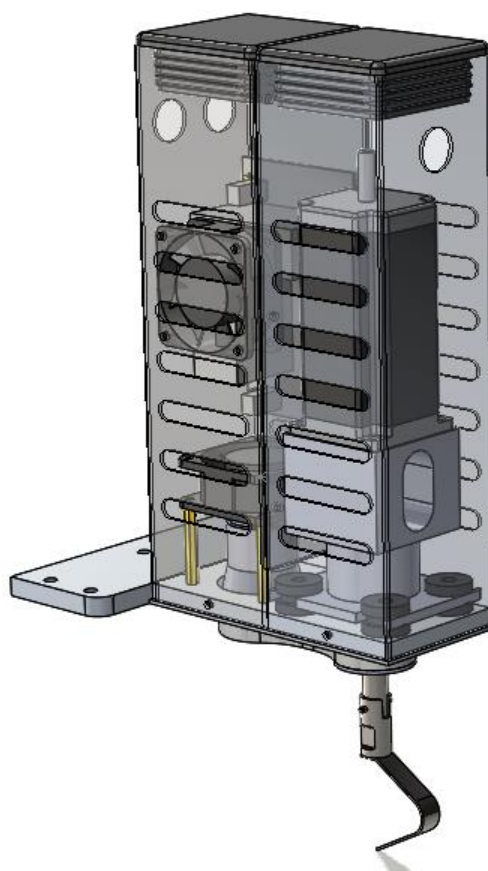
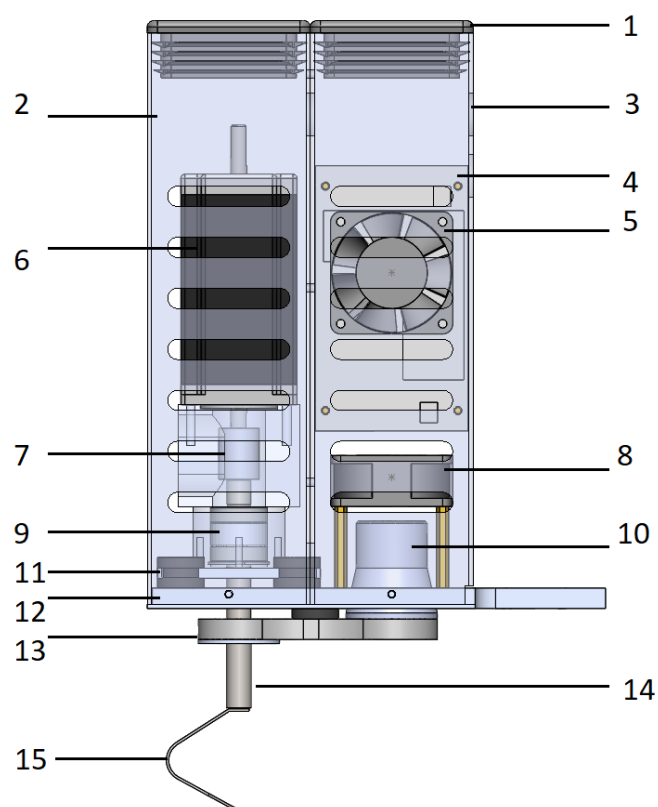
Rzeczpospolita Polska

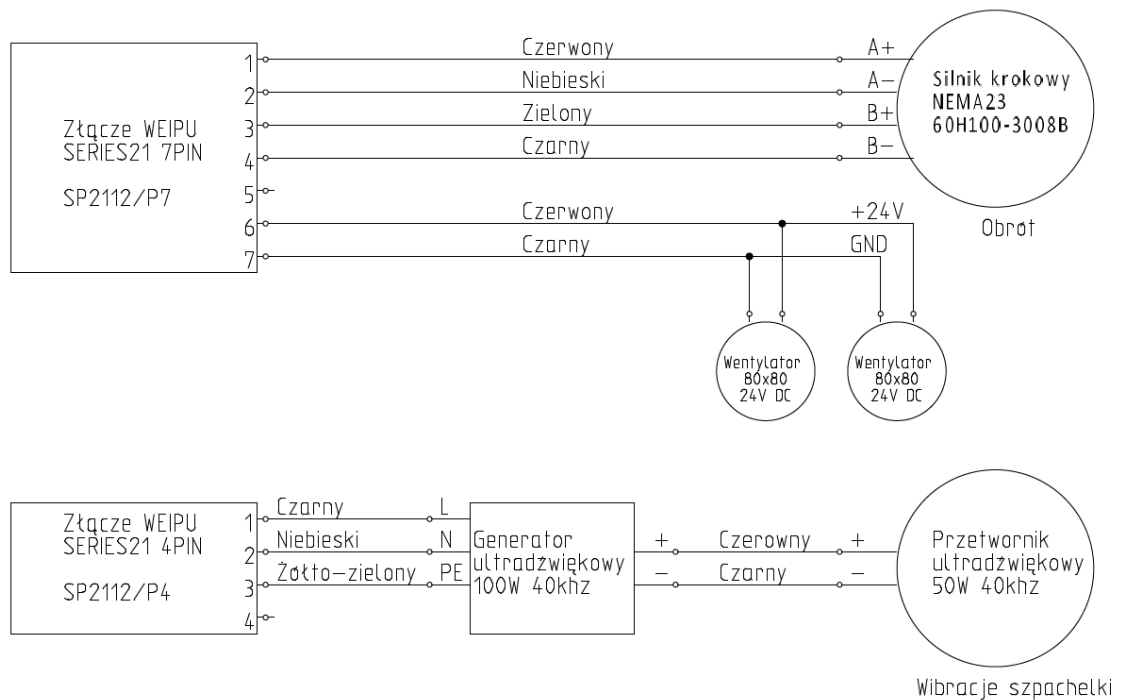


Narodowe Centrum
Badań i Rozwoju

Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego







Test został przygotowany przy użyciu dedykowanego własnego programu do głowicy, który daje możliwość wygenerowania ścieżki ruchu narzędzia z załadowanego pliku graficznego / wektorowego o rozszerzeniu SVG, jak również pozwala na swobodne rysowanie dowolnych obiektów przy użyciu myszki komputerowej lub innego urządzenia wskazującego takiego jak tablet graficzny. Istnieją konwertery SVG do SVG przekształcające obiekty w największą strukturę ścieżkę (path). Rozwiązania te są nieprzydatne w przypadku projektu. Nie znaleziono konwerterów odwrotnych, czyli ze wszystkich obiektów SVG, w tym złożonych ścieżek, do pojedynczych linii. Założono operowanie na plikach tekstowych, odczyt pliku wiersz po wierszu z agregacją danych do łańcucha tekstowego w przypadku kontynuacji obiektu w kolejnym wierszu lub wierszach. Prace rozpoczęto od analizy nagłówka i głównych modyfikatorów pliku SVG. Następnie przyjęto metodę rozpatrywania każdego rodzaju elementu graficznego z osobna. W tym celu przygotowano plik SVG, w którym umieszczano poszczególne typy obiektów i testowano program. Opracowano analizatory w kolejności: linia, wielolinia, prostokąt, wielokąt, okrąg, elipsa. W przypadku pierwszych czterech obiektów wystarczyło przekazać do nowego pliku współrzędne kolejnych punktów oraz pierwszego punktu na zakończenie figur zamkniętych. W przypadku okręgu i elipsy wykorzystano matematyczny opis elipsy i podzielono je na 720 linii. Na tym etapie opracowano także modyfikatory obiektów. Do pliku wynikowego wraz z linią, będącą składową obiektu pierwotnego, przekazano jego grubość, przesunięcie, skalowanie (lokalne i globalne), obrót oraz kolor.

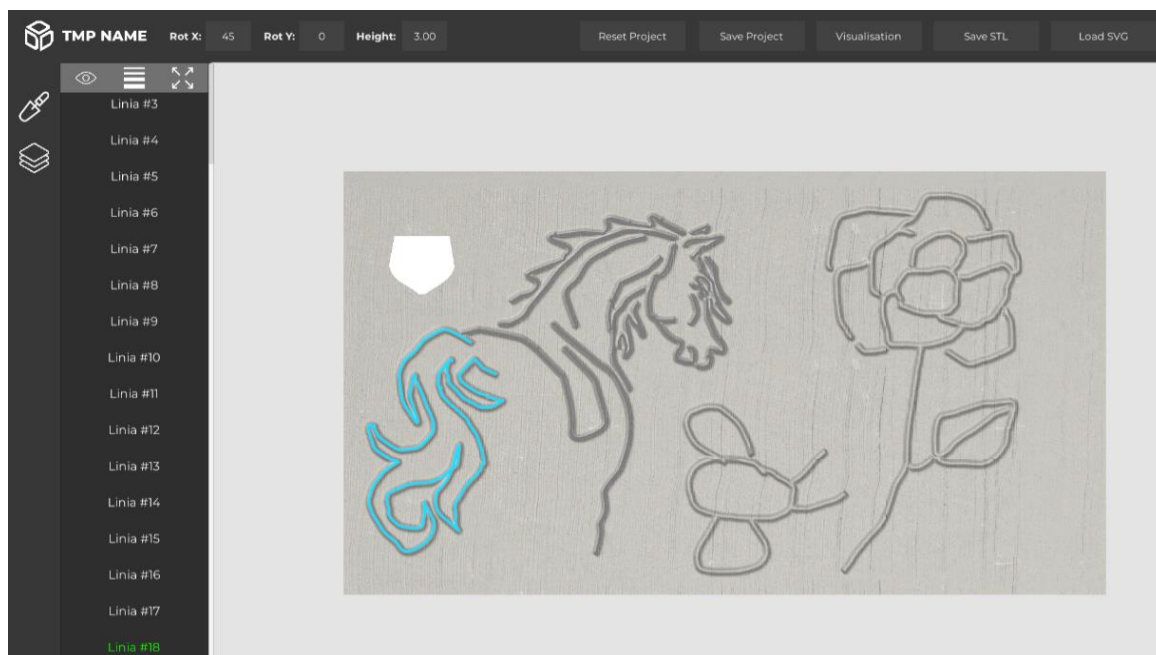


FOTO. Zrzut widoku z programu do projektowania również w czasie rzeczywistym. Na zdjęciu widoczny jest podgląd wykonywanego przykładu. Wektory w kształcie konia zaimportowane zostały z pliku graficznego SVG, pozostałe obiekty narysowano odręcznie przy użyciu myszki komputerowej.

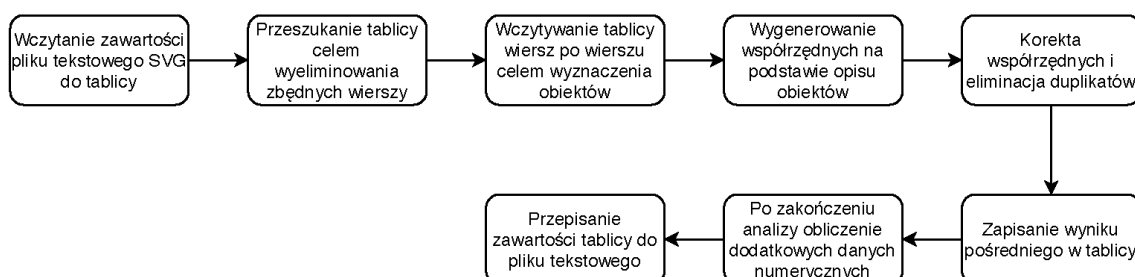


FOTO. Schemat logiczny działania konwertera pliku SVG na typ prosty SVG.

Plik wynikowy zawiera ponadto dodatkowe informacje w postaci rozmiarów przestrzeni rysowania. Są one przepisywane i przeskalowywane z nagłówka pliku SVG oraz korygowane, jak również liczone w przypadku braku nagłówka, ze współrzędnych dla wszystkich obiektów. Konieczność generowania i zapisywania tych danych jest wynikiem mechanizmu wyświetlania grafiki w interfejsie użytkownika. Programiści interfejsu do właściwego skalowania grafiki musieliby odczytać cały plik i dokonać obliczeń na poziomie front-end, zatem zadanie to zostało przerzucone na poziom back-end. Jest to podyktowane koniecznością odciążenia interfejsu od obliczeń oraz faktem, że w warstwie back-end dokonuje się odczytanie całego pliku więc dodanie funkcji obliczającej wymiary

i przekazującej te dane w wyniku jest rozwiązaniem wygodnym i efektywnym biorąc pod uwagę późniejsze testy całego programu.

Parametry druku związane z masą oraz samą konstrukcją mechaniczną wpisane są w program w warstwę back-end. Wszystkie te parametry posiadają jednak własne zmienne, które mogą być odczytywane z pliku konfiguracyjnego. Plik taki ma zawierać parametry druku (np. prędkość) i nastawy maszyny (mające wpływ na funkcje specjalne jak antyaliasing).

- Zaprojektowano i wykonano głowicę D (R-ZB nr 22),

która realizuje efekt plastyczny w formie płaskorzeźby. Poziom nakładania masy w czasie rzeczywistym jest sterowany komputerowo za pomocą dziesięciu zastawek o szerokości 5 mm każda, unoszących się niezależnie w zakresie od 0 do 15 mm wysokości. Wertykalna faktura płaskorzeźby jest oczekiwanym efektem porównywalnym do sidingu, desek, fug, wątków ceglanych itd. Dla głowicy D napisano autorski program komputerowy do projektowania graficznego i sterowania procesem wydruku.

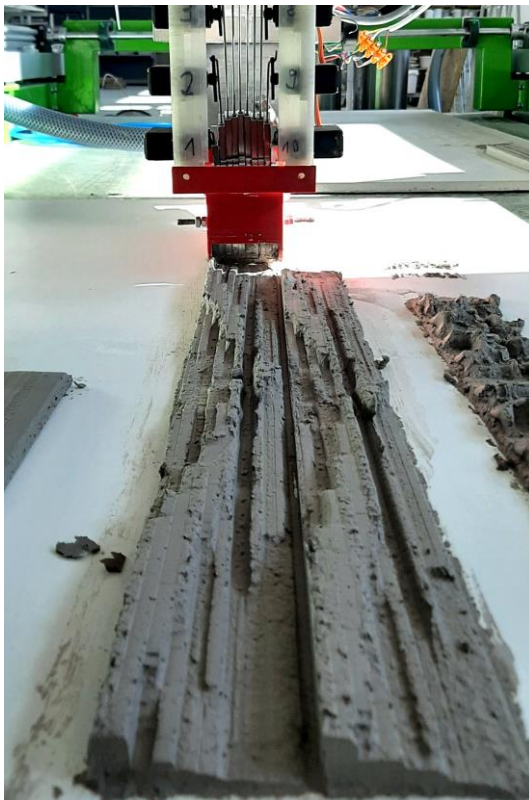
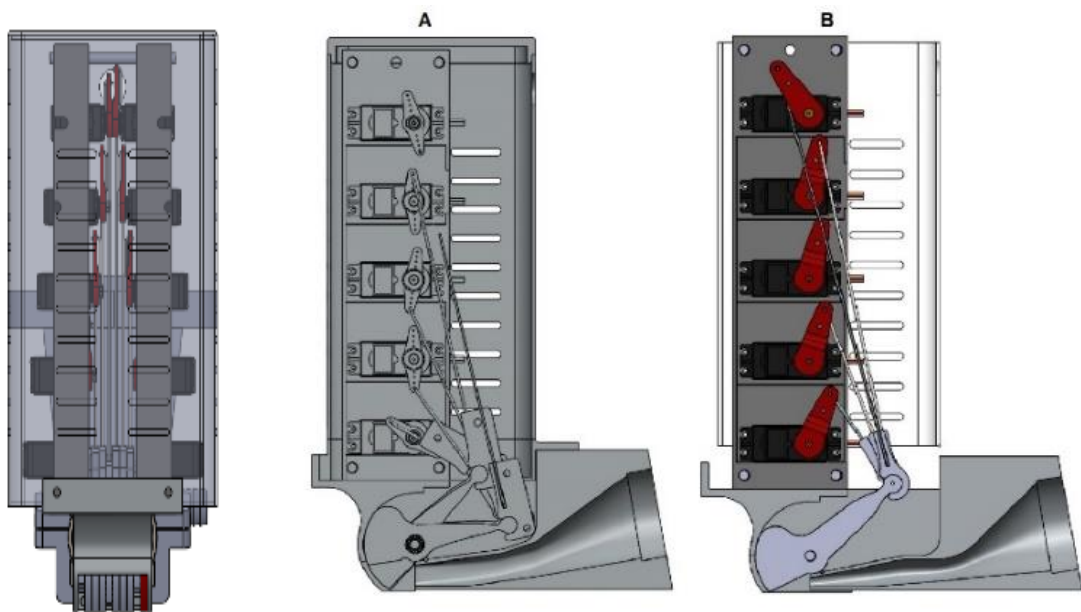


FOTO. Głowica D podczas druku reliefu oraz wydrukowany relief i obraz źródłowy służący do wegenerowania g-cod.



FOTO. Głowica D gotowa do zamocowania na platformie CNC.

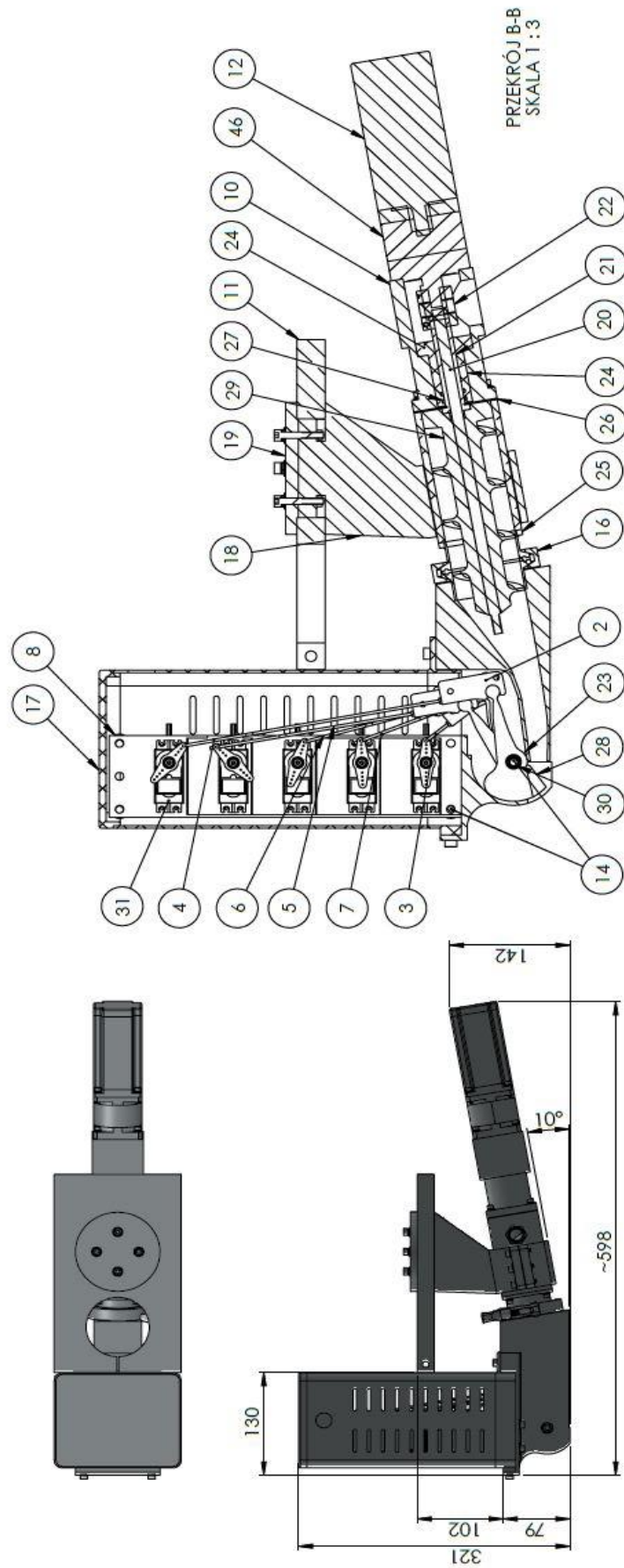
Do sterowania zastawkami wybrano serwomechanizmy z uwagi na precyzyjny sygnał zwrotny o osiągniętej pozycji. Wspólny kanał ułatwi wyciskanie mas o dużym uziarnieniu oraz ułatwi równomierne rozłożenie, natomiast kształt zastawek, umożliwia wstępny docisk wyciskanej masy poprawiając przyczepność masy do podłoża panelu. Wydłużony kanał doprowadzający masę ma za zadanie wstępnie kształtować ścieżkę materiału nakładaną na panel. Udało się skonstruować mechanizm podawania masy oraz dostosować wydajność ślimaka za pośrednictwem obliczeń do płynnej pracy głowicy. Wydajność ślimaka tłoczącego masę o skoku 40mm i średnicy 50mm jest wystarczająca do druku.



Głowica relief wykorzystuje sprawdzony mechanizm z cięgnami. Zaletą konstrukcji jest integracja zespołu podawania masy z elementami wykonawczymi (zastawkami) oczywiście z równorzędną możliwością sprawdzenia rzeczywistej pozycji, która odczytana jest z serwomechanizmu. Masa wtłaczana jest do komory za pośrednictwem ślimaka o średnicy 50mm i skoku zwoju 12mm. Ślimak napędzany jest silnikiem krokowym nema 23 o parametrach:

- maksymalny moment trzymający – 4.2Nm
- prąd zasilania – 4.2A
- długość silnika 102mm
- średnica osi – 8mm
- długość osi - 22mm

Silnik krokowy sterowany jest za pośrednictwem sterownika M542, który jest zasilany napięciem 45V, podział kroku - 400 kroków na obrót silnika.



Ze względu na dużą ilość osi konieczną do sterowania zbudowano oryginalny, prototypowy układ, który roboczo otrzymał nazwę „**SkribiDek**”. Jego zadaniem jest analizowanie danych o przemieszczeniu głowicy i wykonywanie zapisanego programu w ściśle określonych momentach ruchu narzędzia. Testy wykazały że, zastosowanie sterowania za pośrednictwem dekoderek jest poprawne i nie generuje błędów związanych z odległościami. Sygnały wysyłane do sterowania są poprawne.

Dla głowicy D napisano program obliczający objętość wyciskanej masy w zależności od zmiennej geometrii przekroju reliefu zależnego od obrazu źródłowego (projektu plastycznego).

Rozwiązano problem interpretacji koloru barwnego na potrzeby utworzenia faktury na powierzchni. Rozwiązanie końcowe jest rozwiązaniem monokolorowym, zatem wierność odtworzenia obrazu źródłowego stanowi wyznacznik jakości programu dla wariantu wysokościowego. Wariant częstotliwościowy wymaga testów w masie pozwalających na zbudowanie odniesienia między kolorem/odcieniem/jasnością a fakturą pracującą pod wpływem zmieniającego się kąta oświetlenia. Do zbadania pozostaje sposób interpretacji jasności na częstotliwość pracy zastawki celem ustalenia spójnego mechanizmu budującego.

Ponieważ nie istnieje jeden spójny mechanizm konwersji obrazu na fakturę częstotliwościową, jej tworzenie powinno opierać się na wzorcach lub formule matematycznej utworzonych podczas projektu. Zarówno w przypadku wariantu częstotliwościowego, jak i wysokościowego, możliwe jest uzyskanie wyniku końcowego poprzez pojedynczą interpretację obrazu wejściowego. Założono, że obraz wejściowy przed interpretacją będzie przygotowany pod kątem barwy, jasności oraz liczby pikseli branych pod uwagę w obliczeniach. Przyjęto na potrzeby testów laboratoryjnych wstępne odpowiedniki odcienia/jasności na fakturę, czyli częstotliwość pracy zastawki. Założono także wymiennosc zastawek w taki sposób, aby w efekcie końcowym dysponować jednym z trzech kształtów podczas budowania obrazu częstotliwościowego. Wymiennosc ta nie ma aktualnie przełożenia na koncepcyjne prace mechaniczne i służy wyłącznie ocenie efektu końcowego na potrzeby wyboru jednego kształtu zastawi sprawdzającego się do obu wariantów pracy. Nie istnieje inna metoda oceny wyniku uzyskanego opisywanymi mechanizmami, niż ocena wizualna. Mnogość możliwych rozwiązań związanych z ogólnie pojętym reliefem, występująca w sztuce, jest odzwierciedleniem mnogości odczuć artysty dotyczących jednego konkretnego dzieła. Ponieważ celem badania jest utworzenie maszyny, która będzie wykonywać dzieła końcowe w sposób powtarzalny ocena wizualna i przyjęcie subiektywnych założeń na początku pracy jest niezbędne do pozytywnej realizacji tej części projektu.

W badaniu przyjęto 12 wzorców częstotliwościowych, które są przyporządkowywane odpowiednim skalom szarości. Ponieważ obraz wejściowy jest progowany zgodnie z parametrem przekazywanym przez użytkownika minimalna liczba wzorców użytych do

budowania obrazu wynikowego wynosi 2, a maksymalna 12. Wybór wzorca dla danego piksela jest realizowany przez porównanie szarości obrazu sprogowanego do zakresu szarości dla wzorca. Istnieje możliwość zrealizowania efektu końcowego bez konieczności progowania obrazu, poprzez bezpośrednie porównanie szarości do zakresu wzorca. W przypadku wariantu pierwszego głowicy D obraz sprogowany odpowiada bezpośrednio efektowi końcowemu i stanowi zarazem mapę wysokościową na potrzeby wizualizacji. Kolejnym krokiem zwiększającym możliwą wariację rozwiązań końcowych jest możliwość wybrania przez użytkownika liczby pikseli podlegającej analizie. Dla przełożenia 1 piksel na 1 zastawkę oznacza to rozmiar fizyczny piksela 5 x 5 mm, istnieje jednak szansa zwiększenia dokładności generowanego obrazu w poziomie w granicach związanych z częstotliwością pracy maszyny oraz reologią mas. Przykładowo jeśli użytkownik wybierze analizę 2 piksele na 1 zastawkę, to obraz zostanie przeskalowany dwukrotnie w dół (zmniejszony), natomiast piksel rzeczywisty będzie miał wymiary 2,5 x 5 mm. Częstotliwość pracy zastawki wzrośnie w tej sytuacji dwukrotnie z 10 Hz (20 Hz) do 20 Hz (40 Hz) przy prędkości ruchu głowicy podanej jak wyżej. Tego rodzaju manipulacja wprowadza dodatkowy efekt podobny do częstotliwościowego jeśli analizuje się kolumny obrazu.

Po prawej stronie okna znajdują się parametry edycyjne obrazu ładowanego polem po środku okna. Pole po lewej stronie to wynik obliczeń zwrócony przez warstwę back-end wywołaną przyciskiem Konwertuj. Z kolei przycisk Otwórz folder z wynikiem to skrót do wszystkich plików wynikowych, także kodu GCODE. Po lewej stronie na górze okna znajdują się informacje debugowania.

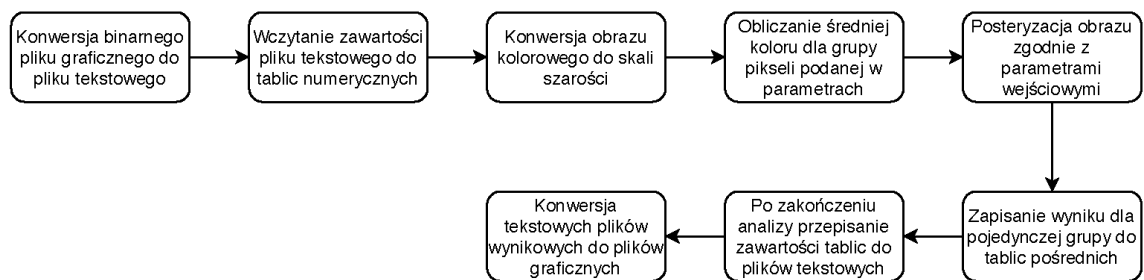


FOTO. Schemat logiczny programu do obsługi głowicy D.

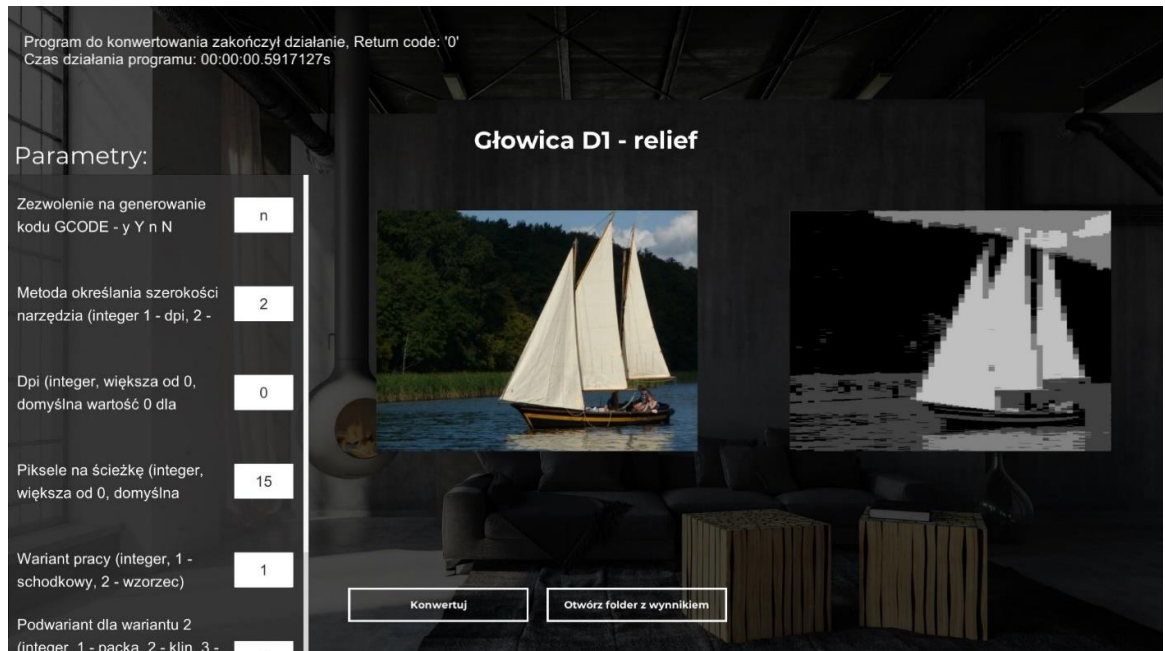


FOTO. Okno edycyjne dla głowicy D relief.

W chwili obecnej parametry druku związane z masą oraz samą konstrukcją mechaniczną wpisane są w program w warstwę back-end. Wszystkie te parametry posiadają jednak własne zmienne, które mogą być odczytywane z pliku konfiguracyjnego. Plik taki ma zawierać właściwości fizyczne masy drukarskiej (wpływające na tłoczenie) oraz parametry druku (np. prędkość) i nastawy maszyny (mające wpływ na funkcje specjalne). Obecne parametry związane z masą oraz maszyną zostały ustalone dzięki współpracy informatyka z konstruktorami. Konstruktorzy wykonali szereg testów oraz przeprojektowywali przesłony, sposób ich działania oraz geometrię w taki sposób, aby możliwe było odwzorowanie ich pracy w warstwie obliczeniowej celem budowania kodów sterujących.

Przekształcenie przygotowawcze obrazu źródłowego dla obu wariantów pracy głowicy D jest rozwiązaniem uniwersalnym, przyspieszającym pracę programu oraz upraszczającym jego modyfikacje. Ponadto jest to rozwiązanie skalowalne. Te same mechanizmy przygotowania obrazu mogą mieć zastosowanie także dla innych głowic. Badanie subiektywne na monitorze komputerowym jest rozwiązaniem ograniczającym ze względu na konieczność dopasowania obrazu do rozdzielczości monitora. W wyniku takiego skalowania wiele szczegółów, zwłaszcza dla wariantu częstotliwościowego, ulega rozmyciu. Znacznie lepszym podejściem jest wydrukowanie wyników końcowych na arkuszach papieru lub innego materiału drukarskiego w skali 1:1.

Uzyskane wyniki pozwoliły na przybliżenie się do wyboru kształtu finalnej zastawki. Ponadto mnogość testowanych rozwiązań częstotliwościowych stanowi podstawę do

dalszych rozważań na temat wyboru wzorca częstotliwościowego. Alternatywnym sposobem tworzenia obrazu jest generowanie zestawu kilkunastu rodzajów faktur o jaśniejszym lub ciemniejszym wyglądzie, które odpowiadają stopniom szarości posteryzowanej bitmapy.

Na FOTO przedstawiono fragment obrazu wygenerowanego metodą częstotliwościową. Odległości poziomych kresek odpowiadają stopniowi szarości w danym obszarze obrazu.

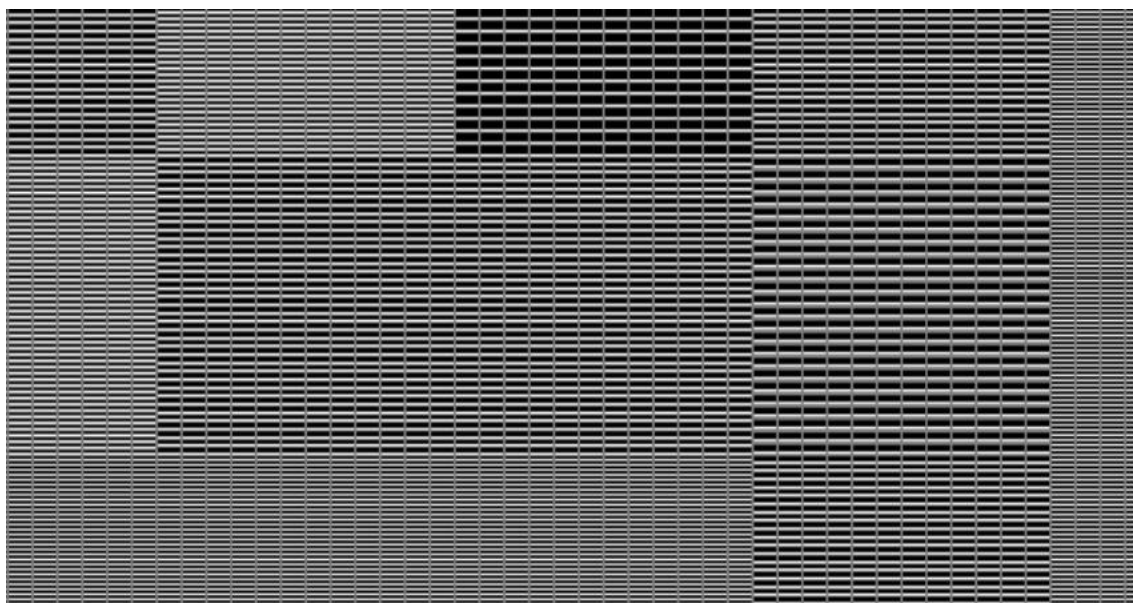


FOTO. Fragment obrazu wygenerowanego metodą częstotliwościową.

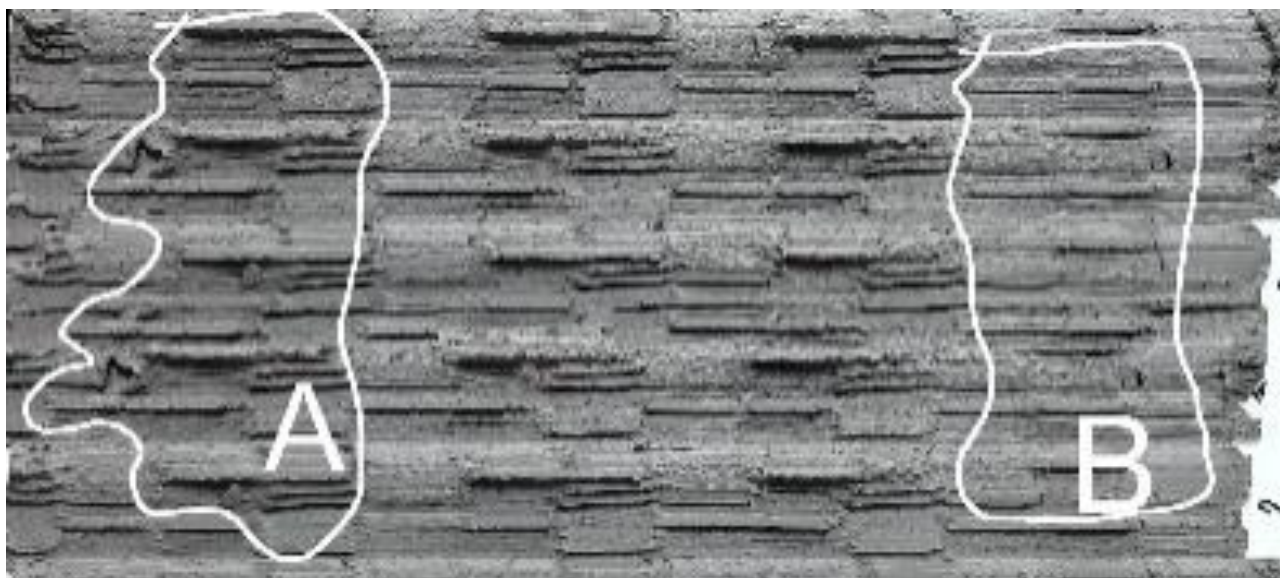


FOTO. Zdefiniowane ciemniejsze i jaśniejsze pola z których powstanie obraz na elewacji widoczny z dużej odległości. Odcieni szarości może być kilkanaście co wystarczy do generowania dokładnych obrazów.

- Zaprojektowano i wykonano głowicę E (R-ZB nr 23)

wraz z programem komputerowym do projektowania graficznego sterowania procesem wydruku. Rozwiązano problem przenoszenia obrazów i projektów plastycznych na ściany elewacji w formie zrastrowanych obrazów bitmapowych za pomocą mas elewacyjnych. Przekształceniom podlegają nie tylko fotografie, lecz dowolny projekt malarski lub rysunkowy. Idea działania głowicy polega na nanoszeniu masy w postaci pojedynczych linii o zmiennej szerokości. Podczas przejazdu realizowane jest nanoszenie mas oraz obrót dyszy w określonych przez program miejscach. Głowica drukuje zgodnie z założeniami prędkością 30mm/s. W zakresie oprogramowania osiągnięto cel polegający na wykonaniu i przetestowaniu modułu informatycznego odpowiedzialnego za interpretację i wygenerowanie podglądu oraz kodu GCODE obrazu wynikowego dla głowicy E. Drugą częścią zrealizowanego zadania polegała na opracowaniu graficznego interfejsu użytkownika, przy czym część obliczeniowa była testowana z wykorzystaniem o wiele bardziej elastycznego pod kątem budowy i modyfikacji, choć ustępującego wyglądem, interfejsu tekstowego. Jako podstawę przyjęto grafikę rastrową. Interpretacją będą zatem podlegać grupy rastrow w zależności od parametrów zadanych przez użytkownika. Celem jest uzyskanie takiego przekształcenia, aby obraz zbudowany był z pasów czarnych i białych, ale nadal był czytelny.



FOTO. Głowica E. Obraz źródłowy i plik przekonwertowany na rysunek rastrowy, efekt druku masą elewacyjną na panelu.

Czytelność jest stwierdzeniem subiektywnym, dążeniem jest jednak taki efekt końcowy, aby z odległości kilkunastu metrów więcej niż połowa obserwatorów widziała temat grafiki w taki sposób, w jaki widział go twórca. Przy większej odległości grafika rastrowa wizualnie upodabnia się do fotografii. Na potrzeby sterowania głowicą E opracowano metodę definiowania kierunku ruchu i obrotu dyszy, z którego wynika szerokość drukowanego rastra na podstawie położenia trzech kolejnych punktów na trajektorii ruchu głowicy.

Dla prawidłowej pracy głowicy napisano algorytm obliczający zużycie masy z wyprzedzeniem kilku milisekund z uwagi na bezwładność systemu zasilania głowicy drukującej przemiennie wąskie i szerokie linie rastra. Opracowany aparat matematyczny obliczający końcowy obrót dyszy oraz wartość zadawaną na ekstruder został z powodzeniem przetestowany. Modyfikatory służące do testowania rozwiązania dla różnych scenariuszy ruchu będą wprowadzone jako stałe w rozwiązaniu końcowym. Opracowano i napisano w języku C++ oraz skompilowano moduł informatyczny umiejscowiony w wysokopoziomowej warstwie back-end. Przetestowano moduł oraz znaleziono rozwiązania matematyczne i mechaniczne, także z wykorzystaniem modułu pomocniczego rekonwertującego istniejący kod GCODE. Drugą częścią zadania było opracowanie czytelnego interfejsu graficznego, bazując na danych ustalonych na etapie testów z wykorzystaniem interfejsu tekstowego.



FOTO. Wykonane próby szerokości i wysokości wydruku.



FOTO. Głowica E-rysunek montażowy.

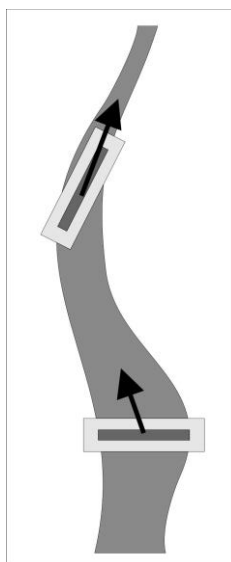


FOTO. Dysze obrotowe prototyp w technologii wydruku 3D. 1- dysza prosta oś obrotu w środku przekroju roboczego, 2- dysza prosta z osią obrotu na krawędzi roboczej przekroju.

Moduł, czyli program komputerowy, ma być uruchamiany z poziomu interfejsu graficznego i ma pozwalać na wprowadzanie danych przez użytkownika w zależności od planowanego przez niego efektu końcowego. Ścieżka tworzenia przestrzennej grafiki z wykorzystaniem maszyny rozpoczyna się od utworzenia dzieła graficznego w wersji cyfrowej lub z wyłączeniem jakichkolwiek metod informatycznych (ołówki na kartce, farby na płótnie). W tym drugim przypadku dzieło musi zostać przekonwertowane na postać cyfrową. Obraz ten może zostać załadowany do programu z wykorzystaniem interfejsu. Tutaj następuje jego przekształcenie z wartości binarnych, wykorzystywanych w grafice komputerowej, na tablicę wartości numeryczne i tekstowe wykorzystywane w opracowywanym programie. Tablica ta jest następnie przekształcana w taki sposób, że efektem końcowym jest plik z grafiką na potrzeby wizualizacji oraz kody dla sterownika elektronicznego maszyny. Plik graficzny jest zwracany do interfejsu graficznego i tak pokazywany użytkownikowi, natomiast plik z kodem sterującym odczytywany jest w średnio poziomym programie maszyny i tu realizowany z wykorzystaniem mechaniki.



FOTO. Schemat logiczny programu do obsługi głowicy E.

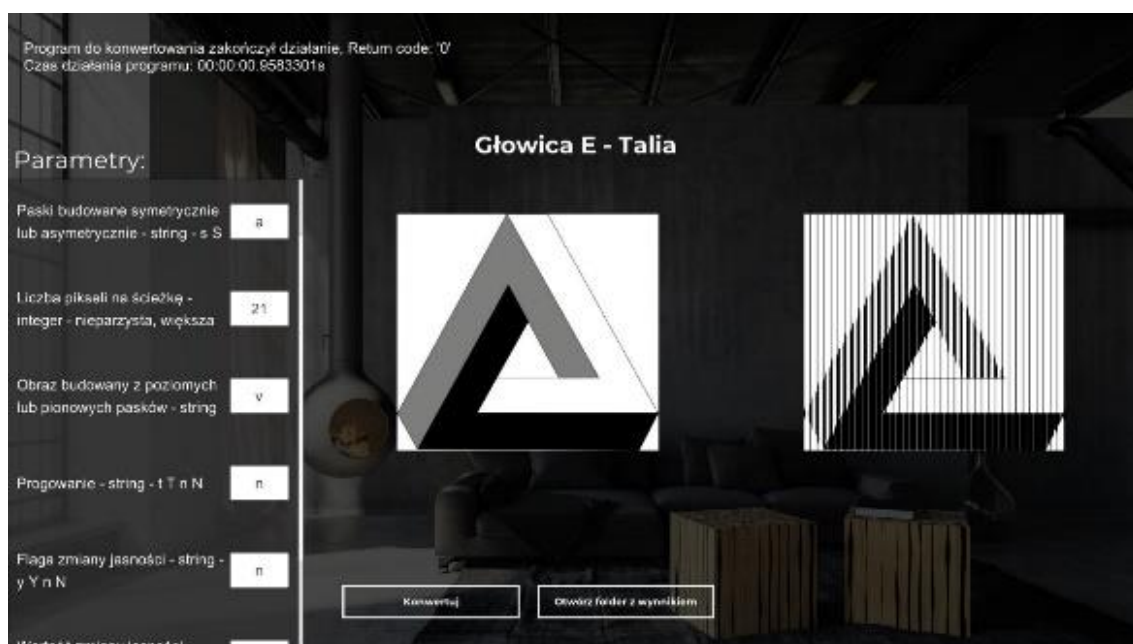


FOTO. Okno edycyjne zakładki programu dla głowicy E (po lewej stronie znajdują się parametry wywołania modułu obliczeniowego warstwy back-end. Po środku znajduje się pole wyboru grafiki, po lewej pole wyniku. Na dole okna znajdują się dwa przyciski, pierwszy uruchamia moduł obliczeniowy z wprowadzonymi parametrami, drugi to skrót do plików wynikowych. Po lewej na górze informacje debugera).



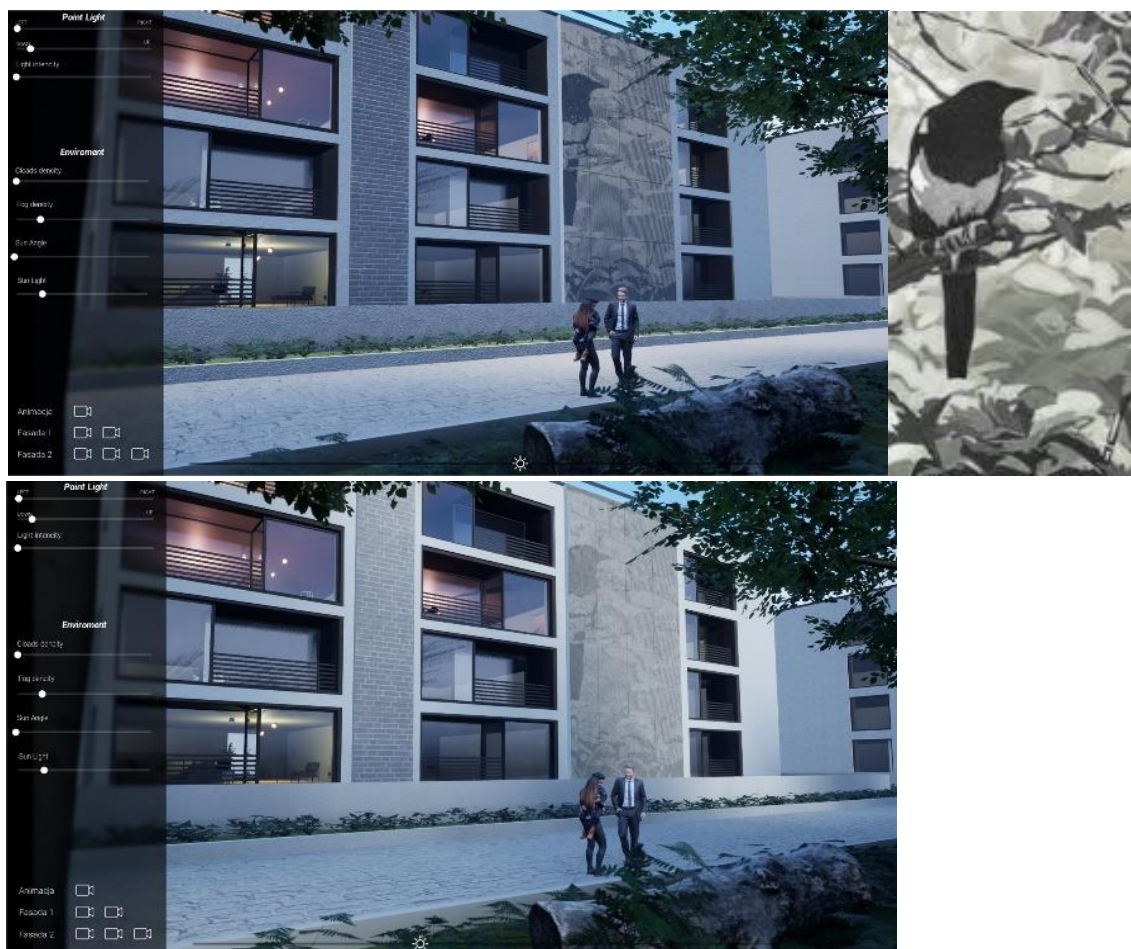


FOTO. Interfejs programu do projektowania elewacji oraz sumulowania wyglądu wydrukowanych paneli w zdefiniowanych porach dnia i roku. Widoczny plik źródłowy oraz wynik na elewacji o różnych porach dnia (możliwe nastawienia pór roku i godzin).

-Zaprojektowano i wykonano głowicę F (R-ZB nr 24)

wraz z programem komputerowym do sterowania procesem wydruku. Głowica służy do nakładania warstwy masy na całą powierzchnię paneli elewacyjnych i wewnętrznych przeznaczonych do dalszej obróbki za pomocą głowicy C „szpachelka” lub głowicy A „kolor”. Zgodnie z założeniami głowica drukuje na szerokości 40mm z szybkością nakładania – 30mm/s i wysokości nakładanego materiału w czasie pojedynczego przejazdu od 1 do 5mm.

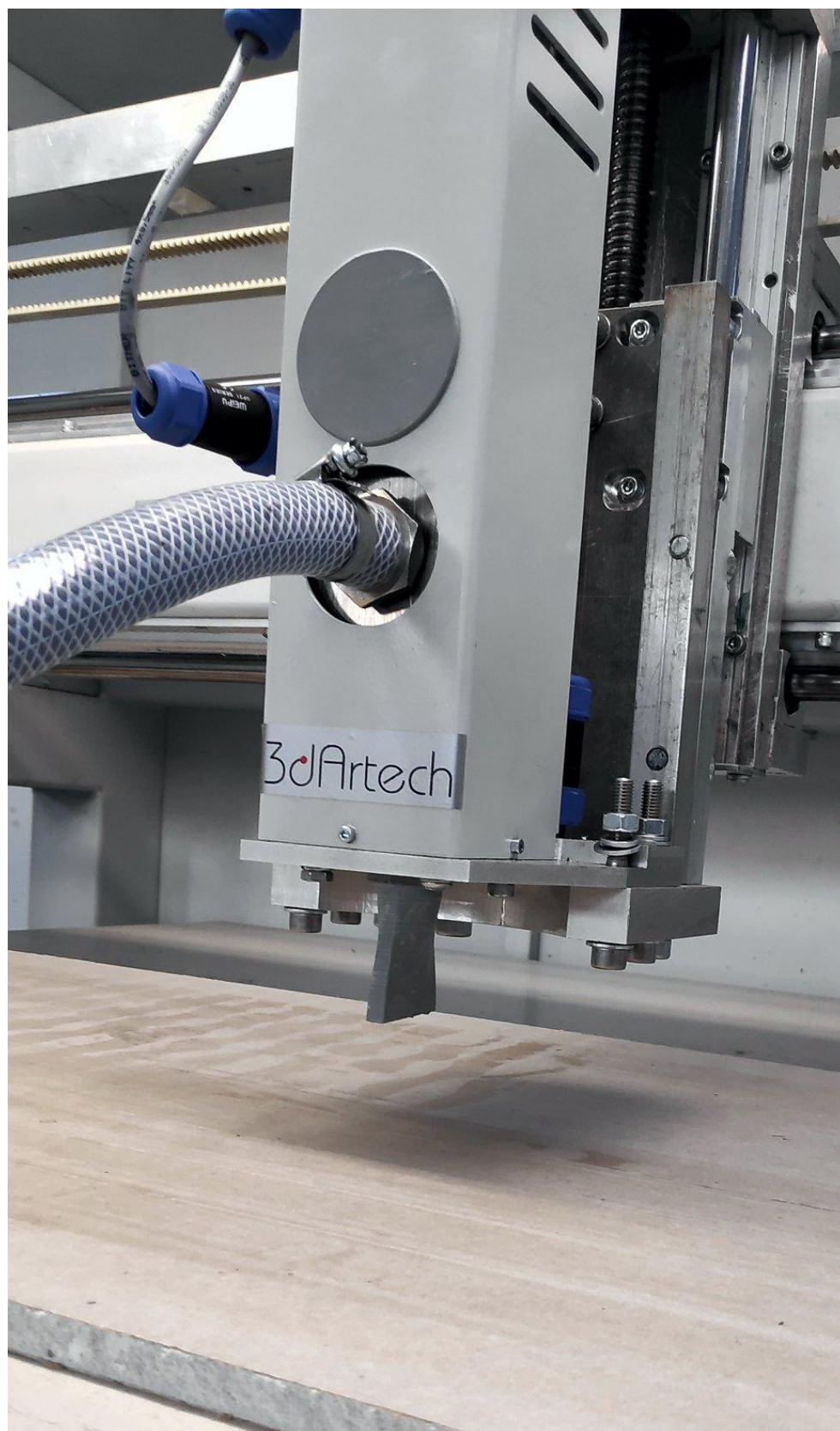


FOTO. Głowica F na drukarce testowej drukująca tło o grubości 5 mm, zadrukowane podłoże gotowe do pracy głowicą A lub C.



Fundusze Europejskie
Inteligentny Rozwój



Rzeczpospolita Polska



Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego



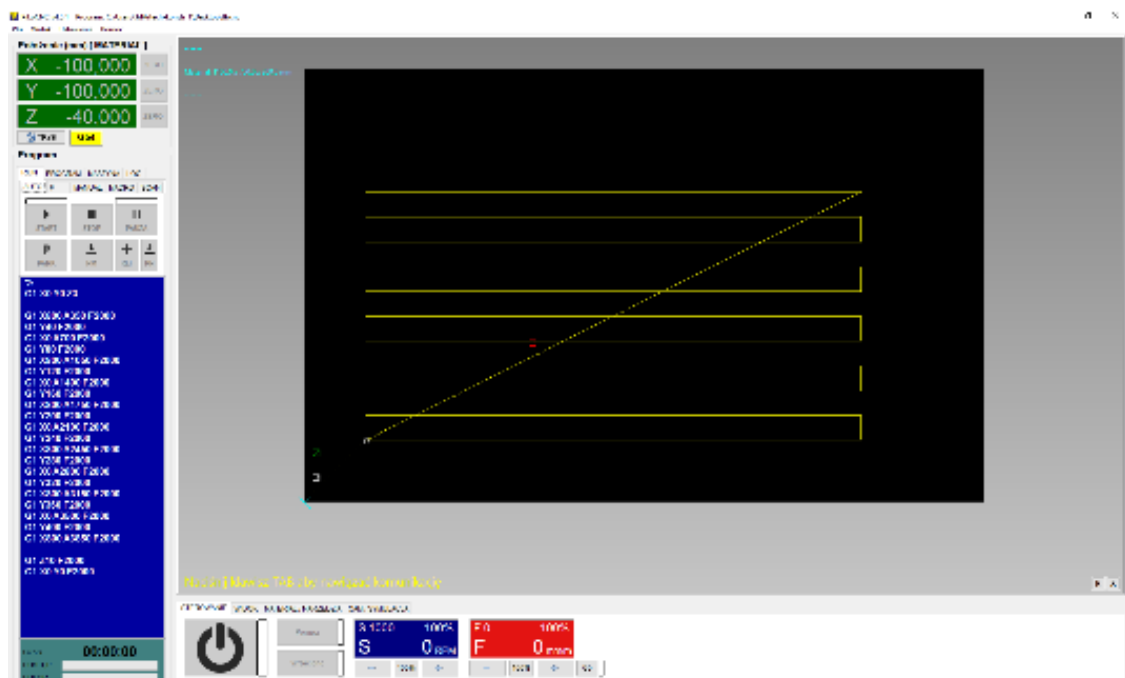
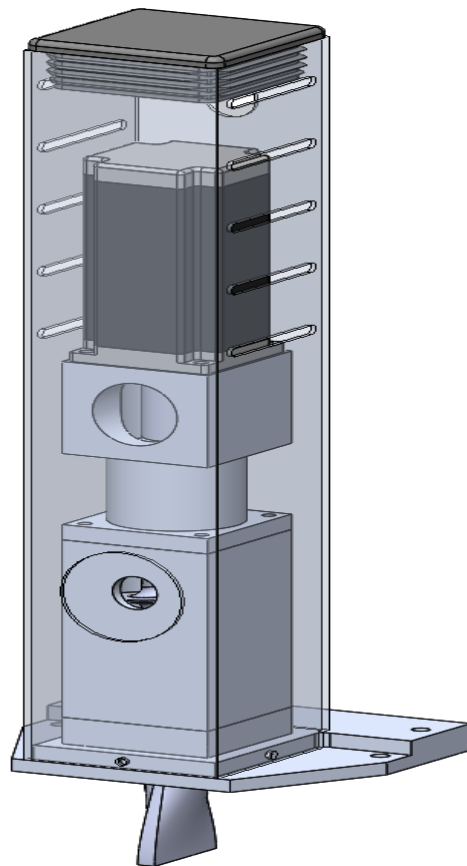


FOTO. Ekran interfejsu programu głowicy F.

- g) W celu osiągnięcia miarodajnych wyników pomiarowych ustrojów akustycznych z uwagi na ich innowacyjny charakter zdecydowano wykonywać wielkopowierzchniowe próbki do badań. Na pomiar współczynnika pochłaniania dźwięku α w komorze pogłosowej wg PN-EN ISO 354:2005 przeznaczono 5 próbek o powierzchni 10,8 m² każda, na pomiar współczynnika rozproszenia dźwięku s w komorze pogłosowej wg ISO 17497-1 przeznaczono 8 próbek o powierzchni 7,07 m² każda, na pomiar współczynnika rozpraszania dźwięku d w komorze bezchowej wg ISO 17497-2 przeznaczono 2 próbki o powierzchni 0,48 m² każda. Próbkę/panele/ustroje akustyczne mimo dużej powierzchni były wielokrotnością elementów o wymiarach deklarowanych we Wniosku i wydrukowano je z mas ceramicznych i struktur rekomendowanych zgodnie z wynikami własnych prac badawczych. Duże płaszczyzny umożliwiły projektowanie dedykowanych do wnętrza i na elewacje kompozycji. Swobodna forma rzeźbiarska ustrojów akustycznych była komplikowana stopniowo z badana na badanie w logicznej sekwencji tak, aby możliwe było ustalenie zależności pomiędzy formą, a charakterystyką akustyczną. Strategia tak umożliwiła odpowiedź na pytanie o wpływ poszczególnych kształtów na pochłanianie i rozpraszanie dźwięku.



FOTO. Ilość ustrojów akustycznych niezbędna do jednego badania o powierzchni próbki 10,7 m² w komorze bezchowej.

Wydrukowano dwa sztywne ustroje akustyczne o funkcji pochłaniania dźwięku na ścianki działowe i obłożenia ścian. Wykorzystano strukturę „kratki” oraz masę ceramiczną o zwiększonej porowatości. Wykorzystano unikalną możliwości drukarki 3d do wykonania kanałów, którymi podąża dźwięk po krzywej spiralnej w głąb dyfuzora co wielokrotni ilość odbić i wydłuży drogę dźwięku. Dodatkowo ścianki kanałów mają fakturę pofalowaną co wynika z charakteru druku.

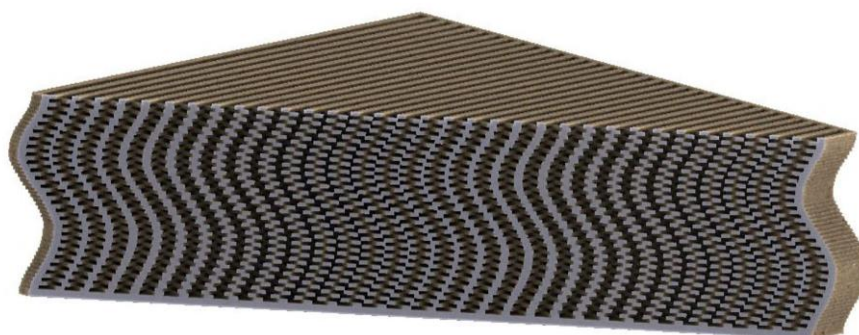
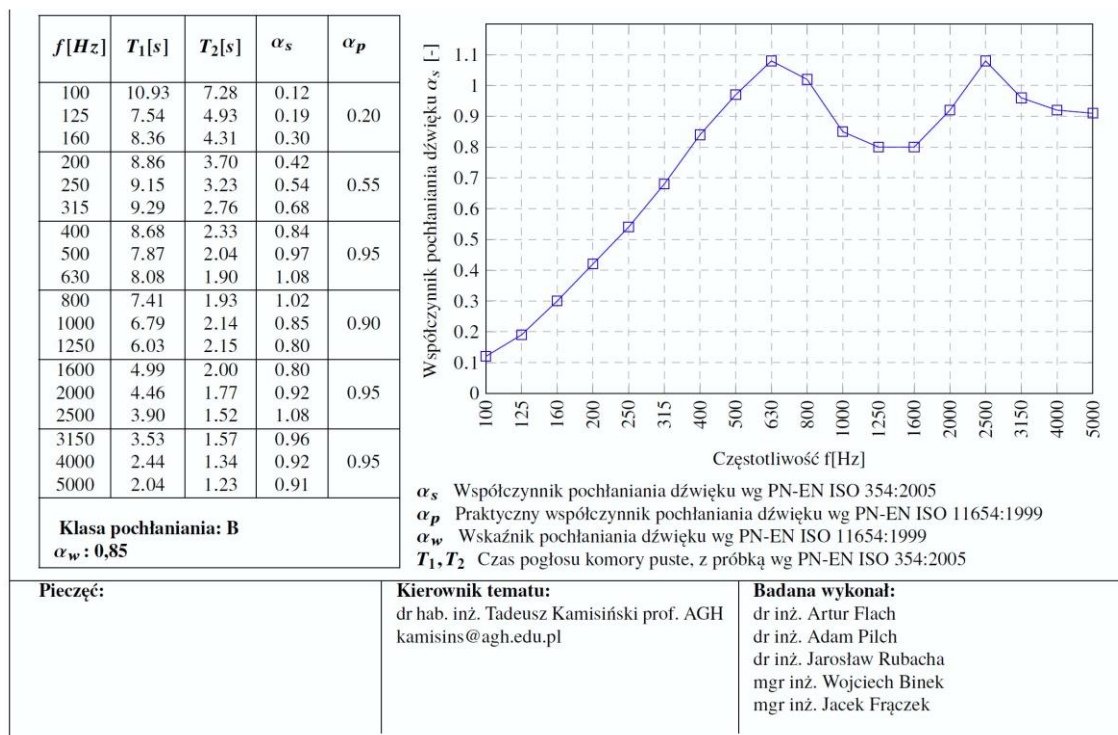


FOTO. Kąty odbicia fali dźwiękowej w kanałkach pochłaniacza akustycznego.



FOTO. Badanie sztywnych, ceramicznych pochłaniaczy dźwięku w komorze pogłosowej AGH w Krakowie.

W komorze pogłosowej dla próbki nr 3 (R-ZB nr 3) uzyskano **wynik α_w 0,85**. Tym samym osiągnięto klasę pochłaniania B i **osiągnięto oczekiwania co wartości użytkowej pochłaniacza** opisane w we Wniosku. Badany panel może z powodzeniem zastąpić wełnę mineralną jako czynnik pochłaniający.



Analizując przebieg funkcji pochłaniania w komorze pogłosowej dla dyfuzora „kratka” biorąc pod uwagę przebieg próbki badanej w rurze impedancyjnej należy stwierdzić periodyczność maksimów. Maksima są przesunięte w kierunku wyższych częstotliwości dla płyty 10 m kw. Pierwsze maksimum występuje dla częstotliwości 640 Hz co odpowiada fali o długości 541 mm. Kolejne maksimum zarejestrowano dla częstotliwości 2808 Hz (123 mm). Trzecie maksimum nie zostało zarejestrowane, biorąc jednak pod uwagę wyniki z rury impedancyjnej spodziewane jest ono w zakresie 6200 – 6500 Hz (56 – 53 mm). Warto zaznaczyć zmniejszające się wahania przebiegu wraz ze wzrostem częstotliwości. Istnieją przesłanki, że zmniejszanie i zwiększanie przesunięcia kratki konstrukcyjnej wpłynie liniowo na zakres częstotliwości tłumienia dźwięku poprzez przesunięcia maksimów. Pochłaniacz może być wykorzystany wszędzie tam, gdzie nie ma powodu lub możliwości stosowania wełny mineralnej. Na etapie wznoszenia ścian konstrukcyjnych i działowych oraz we wszelkiego rodzaju kompozycjach artystycznych. .

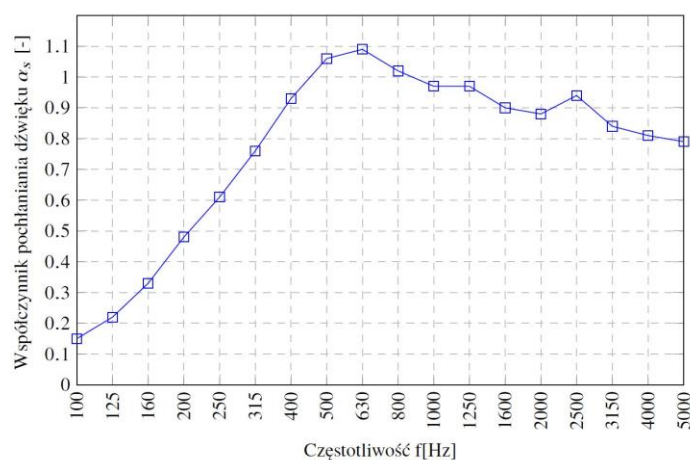
W kolejnym badaniu (R-ZB nr 7) założono możliwość wykonania artystycznych, spersonalizowanych, dedykowanych do konkretnego wnętrza ustrojów akustycznych z elementami swobodnych form rzeźbiarskich i wysokim współczynnikiem pochłaniania dźwięku. Sklasyfikowanie rzeźbiarskich środków formalnych, którymi mógłby posługiwać się artysta bez ujemnego wplywu na walory akustyczne ustroju, mogłoby ułatwić projektowanie i wykonawstwo dekoracyjnych, artystycznych paneli ściennych za pomocą druku 3d. W chwili obecnej wykonanie dekoracji rzeźbiarskiej w obiekcie wrażliwym akustycznie wiąże się z dużą niewiadomą co do jej wpływu na ogólną akustykę przestrzeni szczególnie w zakresie pochłaniania dźwięku, dlatego najczęściej rezygnuje się z projektów artystycznych na rzecz sparametryzowanych, technicznych paneli akustycznych. Zdefiniowanie materiału z jakiego będzie wykonana dekoracja, a także poszczególne środki formalne z których składa się badana kompozycja, poszerzą wiedzę co do możliwości wykorzystania innych niż techniczne ustroje akustyczne.



FOTO. Przykłady dekoracji rzeźbiarskiej pełniącej funkcję pochłaniania dźwięku, elementy swobodnych form rzeźbiarskich nadrukowanych na panel podstawowy - przy zachowaniu kątów i zagęszczenia form można zakładać projektowanie dowolnej kompozycji rzeźbiarskiej, badanie panelu 10,8 m² w komorze pogłosowej AGH, wynik badania.



$f[\text{Hz}]$	$T_1[\text{s}]$	$T_2[\text{s}]$	α_s	α_p
100	10.93	6.85	0.15	0.25
125	7.54	4.64	0.22	
160	8.36	4.10	0.33	
200	8.86	3.42	0.48	0.60
250	9.15	2.95	0.61	
315	9.29	2.55	0.76	
400	8.68	2.16	0.93	1.00
500	7.87	1.91	1.06	
630	8.08	1.88	1.09	
800	7.41	1.94	1.02	1.00
1000	6.79	1.96	0.97	
1250	6.03	1.89	0.97	
1600	4.99	1.87	0.90	0.90
2000	4.46	1.81	0.88	
2500	3.90	1.65	0.94	
3150	3.53	1.67	0.84	0.80
4000	2.44	1.40	0.81	
5000	2.04	1.28	0.79	
Klasa pochłaniania: A				
$\alpha_w: 0,90$				



α_s Współczynnik pochłaniania dźwięku wg PN-EN ISO 354:2005

α_p Praktyczny współczynnik pochłaniania dźwięku wg PN-EN ISO 11654:1999

α_w Wskaźnik pochłaniania dźwięku wg PN-EN ISO 11654:1999

T_1, T_2 Czas pogłosu komory puste, z próbką wg PN-EN ISO 354:2005

Pieczęć:

Kierownik tematu:

dr hab. inż. Tadeusz Kamiński prof. AGH
kamisins@agh.edu.pl

Badana wykonał:

dr inż. Artur Flach
dr inż. Adam Pilch
dr inż. Jarosław Rubacha
mgr inż. Wojciech Binek
mgr inż. Jacek Frączek

Założono wykorzystanie pochłaniacza z poprzedniego badania wydrukowanego z masy pochłaniającej dźwięk jako kanwy do nadrukowywania swobodnych kompozycji rzeźbiarskich masą twardą o właściwościach odbijania dźwięku. Nadrukowano powierzchnię ustroju w około 50% w sposób równomierny, nadrukowano elementy rzeźbiarskie na wysokość około 4-5 cm, stosowano kąty ścianek nadrukowywanych elementów od 90° do 45°, zastosowano kanaliki o długości powyżej 85 mm. Na tym etapie badań zdecydowano się na powtarzalność form z uwagi na możliwość zdefiniowania form, rozmiarów i kątów pod względem akustycznym. Z wykresu badania wynika, że maksimum pochłaniania występuje dla częstotliwości 630 Hz, co odpowiada długości fali 549 mm. Jest to wartość, która została wyznaczona także dla ustroju nie hybrydowego. Charakter tłumienia zmienia się jednak w wyższych częstotliwościach na mniej korzystny. W przypadku samego ustroju z masy ceramicznej porowatej wartości maksimum tłumienia są na podobnym poziomie. W przypadku układu hybrydowego tłumienie dla wyższych częstotliwości spada. Drugie maksimum zgodnie z oczekiwaniami rozpoznano dla częstotliwości około 2500 Hz (138 mm), natomiast trzecie powinno być zarejestrowane w zakresie 6200 – 6500 Hz. Spadek tłumienia wynika z obecności ustroju rozpraszającego z masy twardej. Jego konstrukcja blokuje możliwość penetracji ustroju porowatego przez wyższe częstotliwości. Zamiast tego zwiększone są parametry rozpraszania dla tych częstotliwości. Zaznaczyć należy, że spadek charakterystyki tłumienia można wytłumaczyć wzrostem rozpraszania, co pozwala na wysunięcie tezy o możliwości projektowania odrębnych ustrojów tłumiących i rozpraszających. Modelowanie parametrów akustycznych można uprościć do odejmowania od funkcji tłumienia funkcji rozpraszania celem uzyskania ustrojów hybrydowych o zadanych parametrach projektowych. Dla opisywanej próbki nr 6 osiągnięto klasę pochłaniania A ($\alpha=0,90$) Jest to doskonały wynik porównywalny do wełny mineralnej.

Celem kolejnego zadania badawczego (R-ZB nr 8) było wyznaczenie współczynnika pochłaniania dźwięku trzech paneli dedykowanych na zewnątrz i do wewnątrz (oznaczonych jako badanie/próbka nr 1, nr 5, nr 8). Celem pośrednim było zaprojektowanie cienkiego dyfuzora o wysokich walorach estetycznych współdziałającego z wełną w pochłanianiu dźwięku we wnętrzu lub wykorzystaniu wełny izolacji termicznej budynku do pochłaniania dźwięków na elewacji. Wydrukowanie w technologii 3d perforowanego panelu elewacyjnego z gliny klinkierowej z możliwością wykończenia jego lica w sposób spersonalizowany tj. indywidualny dla każdej elewacji jest znaczącym wypełnieniem niszy na rynku materiałów budowlanych.



FOTO. Propozycje różnych kompozycji nadrukowanych na kanwie ustroju pochłaniającego dźwięk.

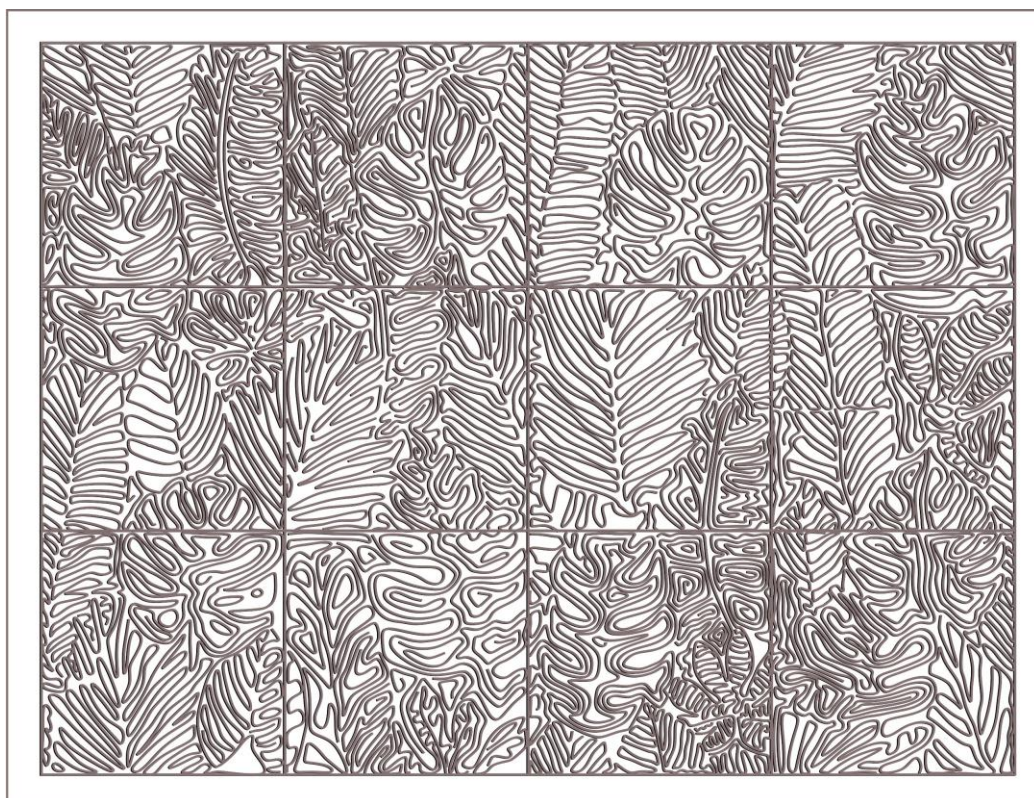


FOTO. Projekt graficzny elewacji.



Fundusze Europejskie
Inteligentny Rozwój



**Rzeczpospolita
Polska**



Narodowe Centrum
Badań i Rozwoju

Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego





FOTO. Gotowa elewacja po wypale w $t=1300^{\circ}\text{C}$.

Wachlarz wyrobów elewacyjnych, ceramicznych dla budownictwa, poszerzył się o nowy oryginalny wyrób. W przypadku paneli wewnętrznych sytuacja jest analogiczna. Możliwość indywidualnego projektowania wierzchniej warstwy perforacji wydaje w przypadku wnętrza bardzo atrakcyjna. Pojedynczy element jest lekki z uwagi na tendencję do stosowania na elewacjach coraz grubszej warstwy izolacyjnej w postaci wełny mineralnej i co za tym idzie koniecznością stosowania coraz dłuższych kotew. Powierzchnia perforacji jest w optycznej równowadze z powierzchnią materiału ponieważ masa ceramiczna stanowi o walorach dekoracyjnych panelu. Przy grubości 2cm pochłalność złożonej struktury wewnętrznej elementu powinna odpowiadać typowym materiałom porowatym i wynosić około $\alpha_w 0,3$ mimo zastosowania twardej masy ceramicznej (zwiększanie grubości zdecydowanie wzmocni pochłalność co nie wydaje się konieczne z uwagi na obecność wełny mineralnej na elewacji). Istnieje możliwość szybkiego nanoszenia zindywidualizowanych projektów plastycznych na panele elewacyjne i wewnętrzne tworząc wielkie kompozycje na całej ścianie lub elewacji.

Zostały przebadane trzy ustroje akustyczne w kompletnym systemie elewacyjnym w celu określenia α_w : panel elewacyjny lub wewnętrzny o wymiarach 3 m X 3,6 m na ruszcie stalowym nad welonem ochronnym i wełną mineralną grubości 5 cm, panel elewacyjny o wymiarach 3 m X 3,6 m na ruszcie stalowym nad welonem ochronnym i wełną mineralną grubości 15 cm, panel elewacyjny na stalowym ruszcie bez wełny mineralnej

(badanie ma na celu określenie wartości wyjściowej dla badanego układu i określenie skuteczności pochłaniania struktury o grubości 2 cm ponieważ wartość α_w dla grubości 8.5 cm jest już zbadana).

Badania nad urządzeniami akustycznymi drukowanymi z mas ceramicznych zaprojektowano tak, aby uzyskać jak najwięcej wniosków porównując wyniki uzyskane na drodze modyfikacji urządzeń w formach pośrednich. Na przykład badając pochłanianie struktury od najcieńszych do najgrubszej. W zadaniu Badawczym nr 4 i nr 7 ustalono, że aby uzyskać pochłanianie klasy A należy wydrukować strukturę sztywną o kanałach w formie helisy na wysokość 85 mm-100mm. W Zadaniu Badawczym nr 2 ustalono, że współczynnik pochłaniania dźwięku dla cienkiego urządzenia akustycznego o grubości 20 mm, wynosi 0,25 (co odpowiada 6 mm wykładzinie dywanowej ułożonej na betonie dla częstotliwości 1kHz lub porowatej płycie pilśniowej grubości 12 mm). Należy podkreślić, że badany ustrój o grubości 20 mm wykonano tylko do celów badawczych. Handlowe grubości podobnych rozwiązań powinny zaczynać się od 30 mm w górę co układ pozbawiony wełny mineralnej czyni bardzo atrakcyjnym od strony budowlanej (uproszczony montaż, cena) Powyższe wyniki upoważniają do projektowania form pośrednich urządzeń akustycznych i zakładania oczekiwanych wyników.



FOTO. Badanie systemu elewacyjnego w komorze pogłosowej. Grubość urządzenia akustycznego 2 cm.

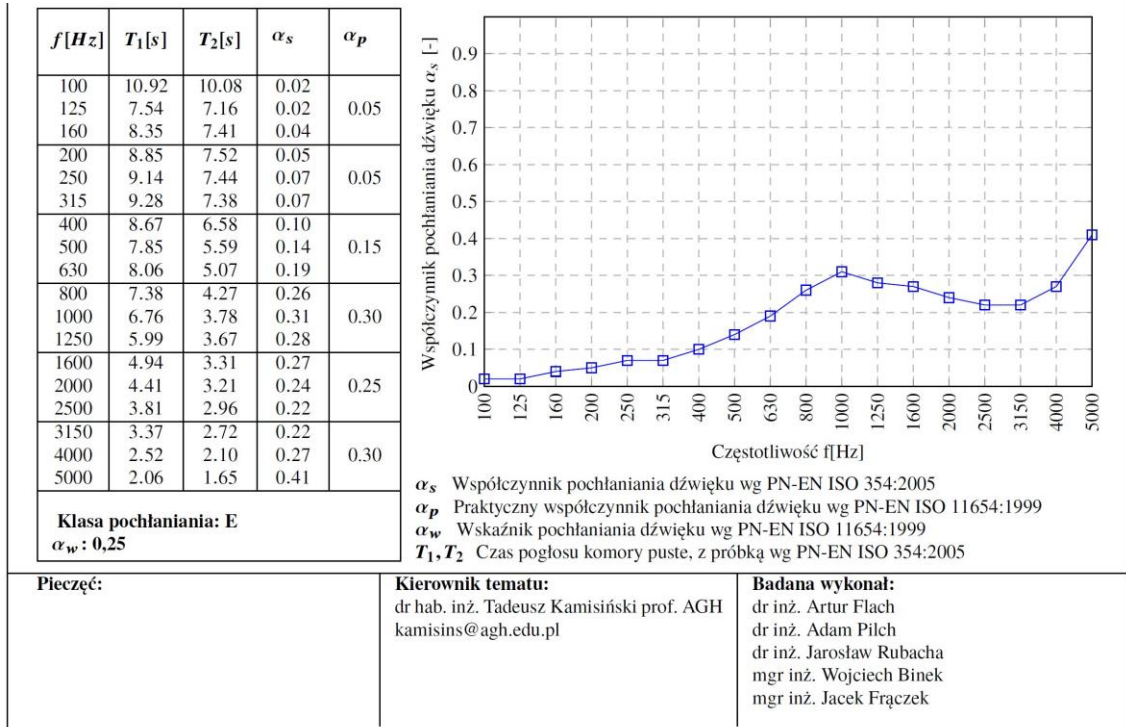
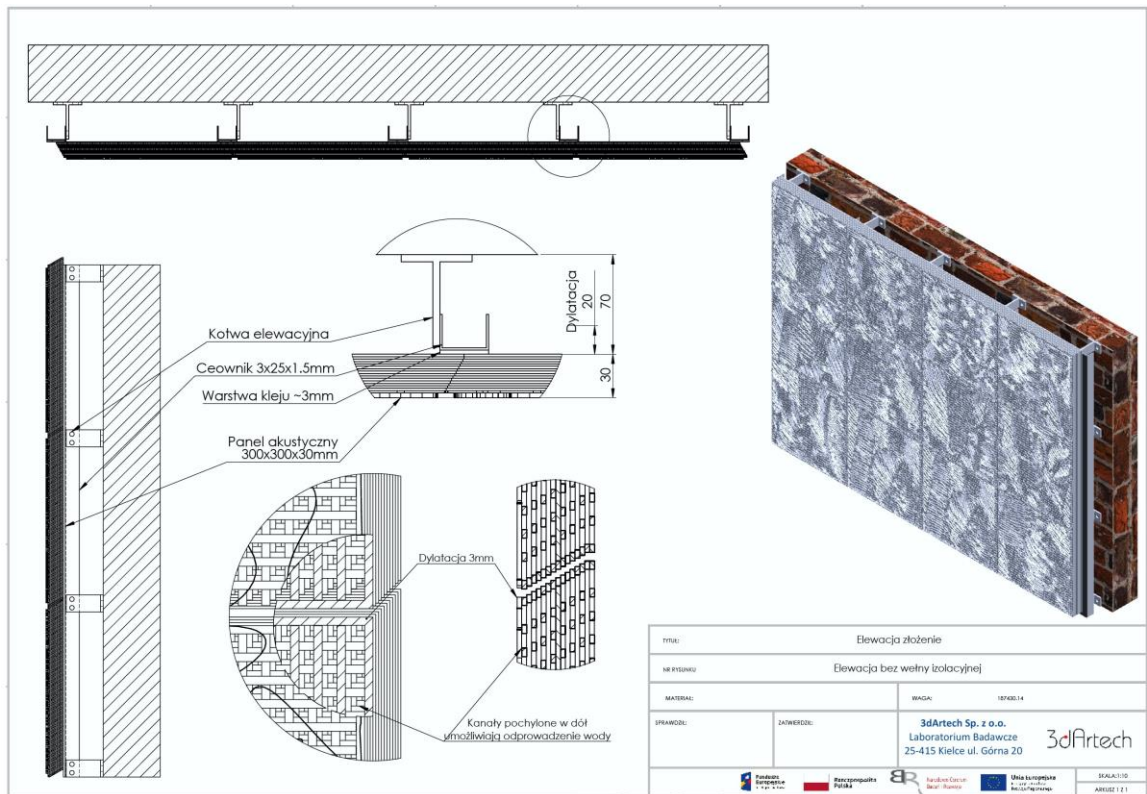


FOTO. Wyniki badań systemu elewacyjnego z ustrojem akustycznym grubości 2 cm.

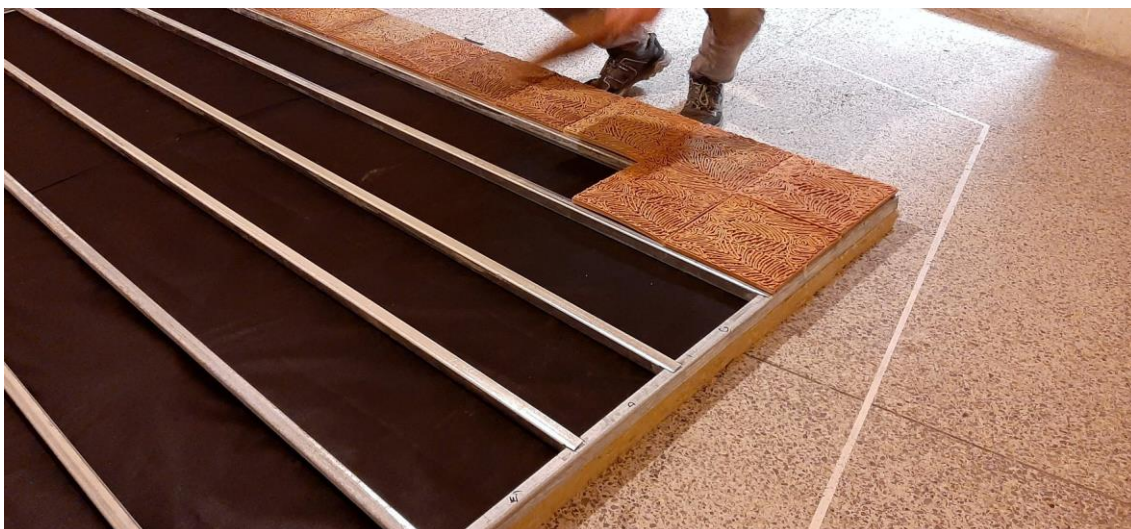
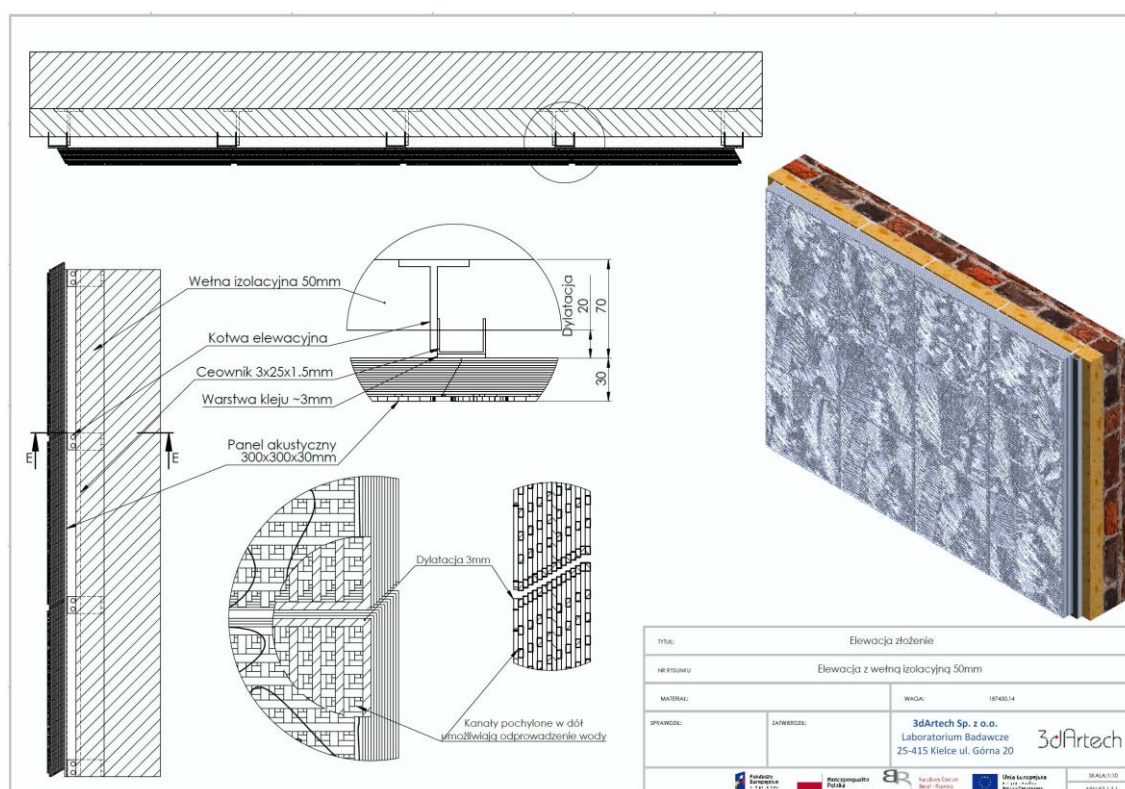


FOTO. Badanie systemu elewacyjnego w komorze pogłosowej z urządzeniem akustycznym grubości 2 cm i wełną mineralną grubości 5 cm.



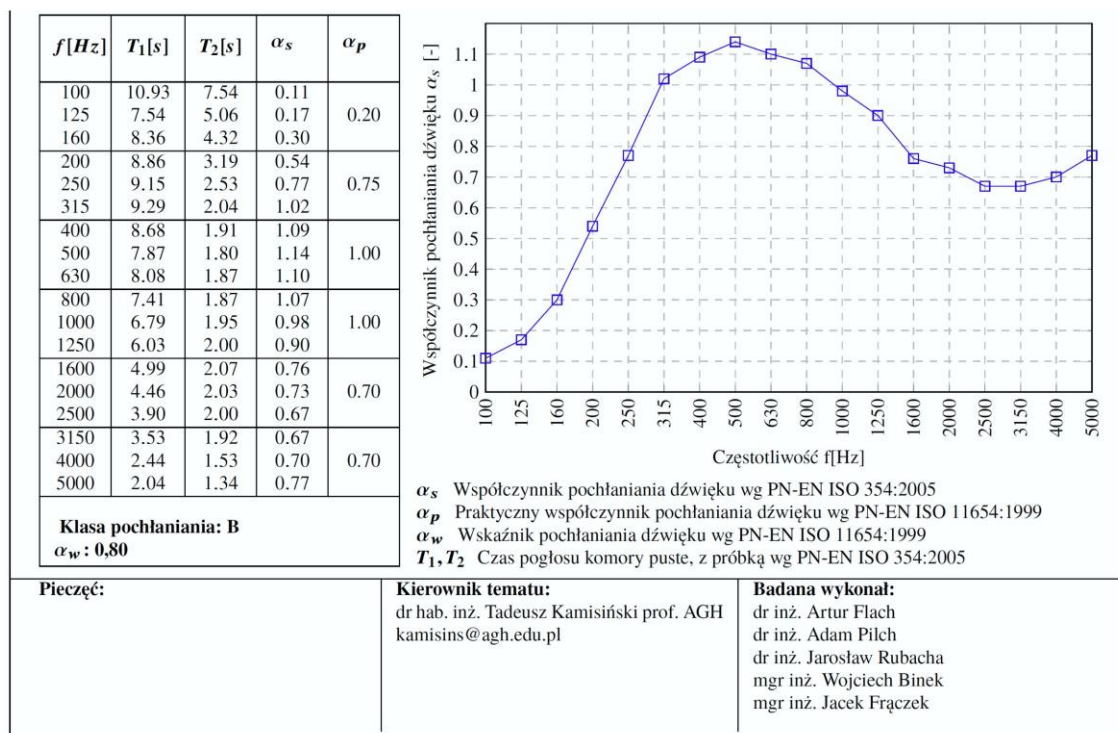


FOTO. Badanie systemu elewacyjnego w komorze pogłosowej z ustrojem akustycznym grubości 2 cm i wełną mineralną grubości 15 cm.



FOTO. Badanie systemu elewacyjnego w komorze pogłosowej z ustrojem akustycznym grubości 2cm i wełną mineralną grubości 15 cm.

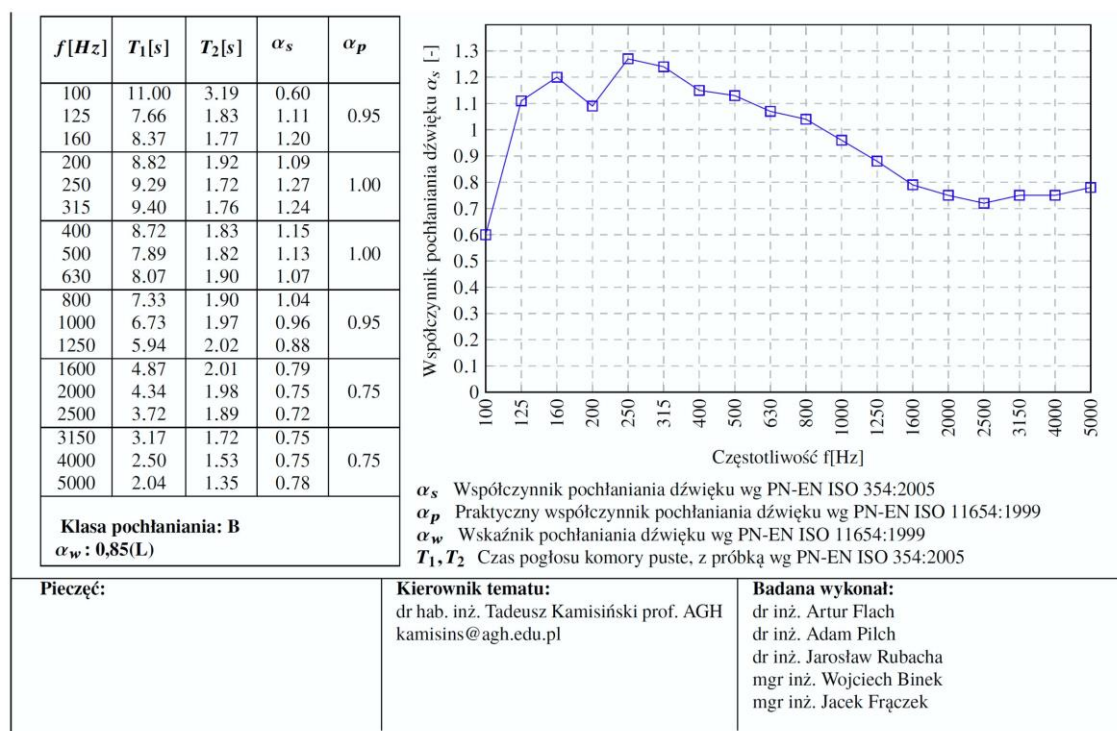


FOTO. Wyniki badań systemu ściennego i elewacyjnego pochłaniającego dźwięk w zakresie od $\alpha=0,25$ do $\alpha=0,85$ w zależności od grubości wełny mineralnej.

Pomiar panelu akustycznego o grubości 20 mm na stalowym ruszcie i 5 cm warstwie wełny mineralnej wykazał stopień pochłaniania na poziomie $\alpha_w=0,8$. W zakresie niskich częstotliwości 200-315 Hz α_p również wyniosło 0,8. Największa pochłaniania zanotowano dla częstotliwość 500 Hz $\alpha_p=1.150$. Panel ze swoimi parametrami mieści się w klasie najlepszych wewnętrznych paneli obecnych na rynku. Pomiar zewnętrznego panelu akustycznego na stalowym ruszcie i wełnie mineralnej grubości 15 cm wykonano dla typowego układu na elewacji zewnętrznej gdzie grubość wełny jest zdeterminowana przez klasę termoizolacyjności budowli. Pochłanianie dźwięku uzyskana jest niejako przy okazji i wynosi $\alpha_w=0,8$.

Na podstawie wykresów można wyznaczyć zakres najlepszego tłumienia na 115 Hz do 830 Hz (fala o długości 3008 – 417 mm). Biorąc pod uwagę konieczność uwzględniania w pomieszczeniach pułapek basowych umieszczanych w narożnikach wklęsłych zaznaczyć należy niezwykle użyteczność badanego ustroju. Może on być częścią całości z ustrojami na ścianie i nie musiałby się wyróżniać tak, jak istniejące struktury pochłaniające niskie częstotliwości głównie ze względu na swoje o wiele mniejsze rozmiary. Z wykresu ZB8A2RYS wynika, że maksimum tłumienia przypada na częstotliwość 500 Hz (692 mm). Zakres bardzo dobrego tłumienia to 300 do 1000 Hz (1153 – 346 mm). Nastąpiło zatem przesunięcie charakterystyki tłumienia w kierunku wyższych częstotliwości. Istnieje

przesłanka do twierdzenia, że grubością podkładu wełny można modelować zakres najlepszego tłumienia. Układanie ustrojów na wełnie o różnej grubości pozwoliłoby na wymodelowanie płaskiej charakterystyki tłumienia nawet już od kilkudziesięciu Herzów. Z wykresu ZB8A3RYS wynika, że maksimum tłumienia dla samego ustroju wynosi 1000 Hz, a od wartości około 3000 Hz (115 mm) wartość ta zaczyna rosnąć, co jest wynikiem złożonej struktury wewnętrznej ustroju sprzyjającej wielokrotnemu odbijaniu się fal krótkich. Podobną zależność zauważono także dla dwu poprzednich badań. Można zatem wysunąć wniosek, że obecność wełny powoduje nie tylko zwiększenie tłumienia wszystkich częstotliwości ale i przesunięcie maksimum w stronę niższych częstotliwości. Jest to zależność wykładnicza, co można wywnioskować po zestawieniu ze sobą grubości wełny oraz maksimum charakterystyki tłumienia. Ponadto od wartości częstotliwości 3000 Hz dominujący w modelowaniu charakterystyki rozpraszania staje się udział struktury ustroju akustycznego.

Dla wyznaczenia współczynnika rozpraszania dźwięku s wg ISO 17497-1 przebadano sześć kompozycji rzeźbiarskich w trzech sekwencjach (D-ZB nr 9, 10, 11). Badano próbki nr 8, 9, 9b, 10, 11, 12 o powierzchni 7,07 m² każda. Formę próbek modyfikowano tak, aby możliwe było sparametryzowanie koniecznych zmian do osiągnięcia zamierzonego celu w przyszłych realizacjach. W zakresie technologii druku przebadano możliwość drukowania różnymi materiałami w tym podporowymi w jednym procesie.



FOTO. Ustrój akustyczny rozpraszający z motywem liścia klonu o wysokości od 4 cm do 18 cm półką poziomą i bez.

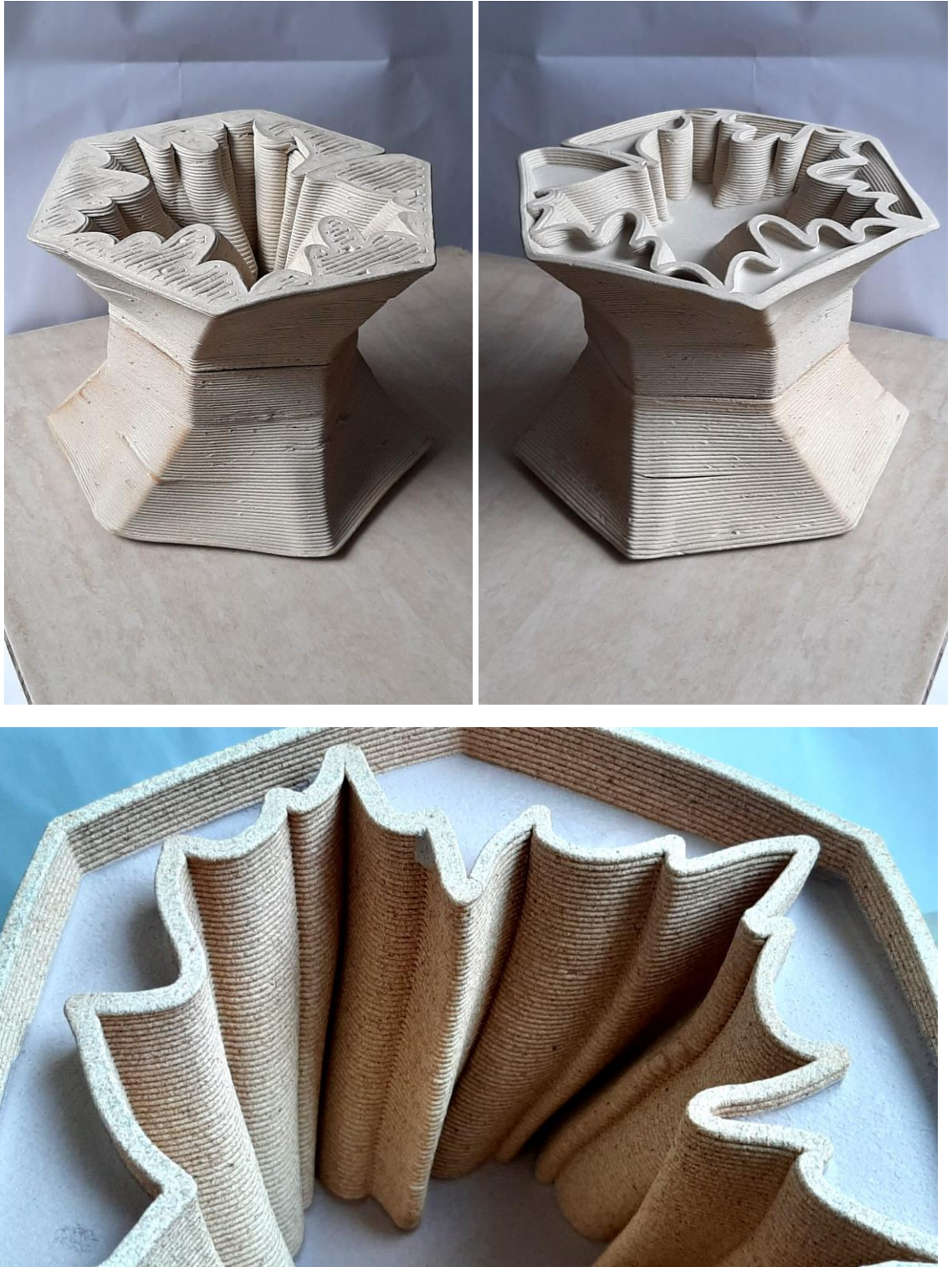
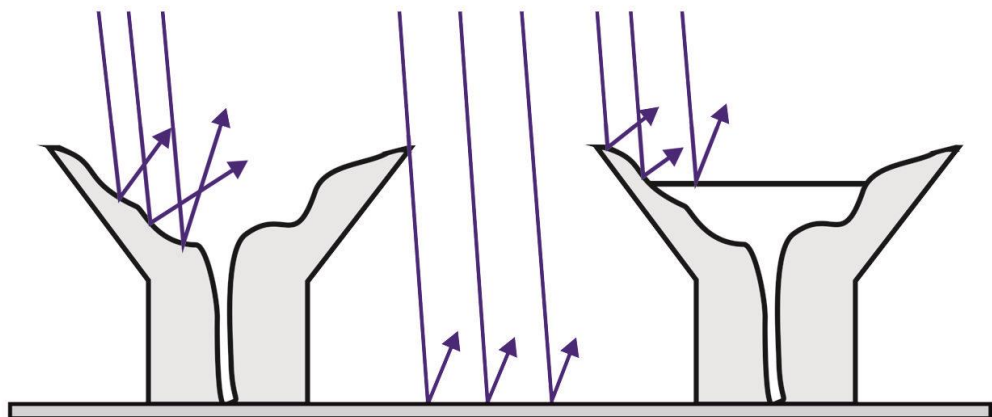
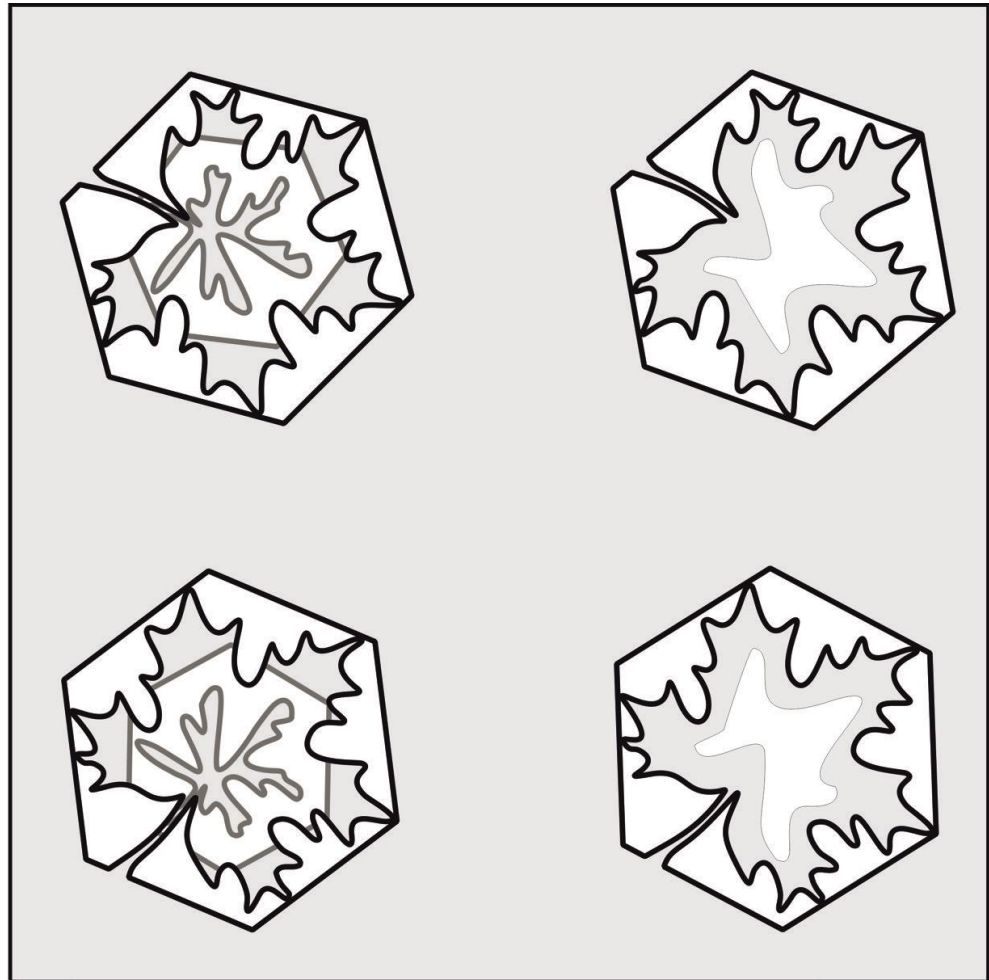
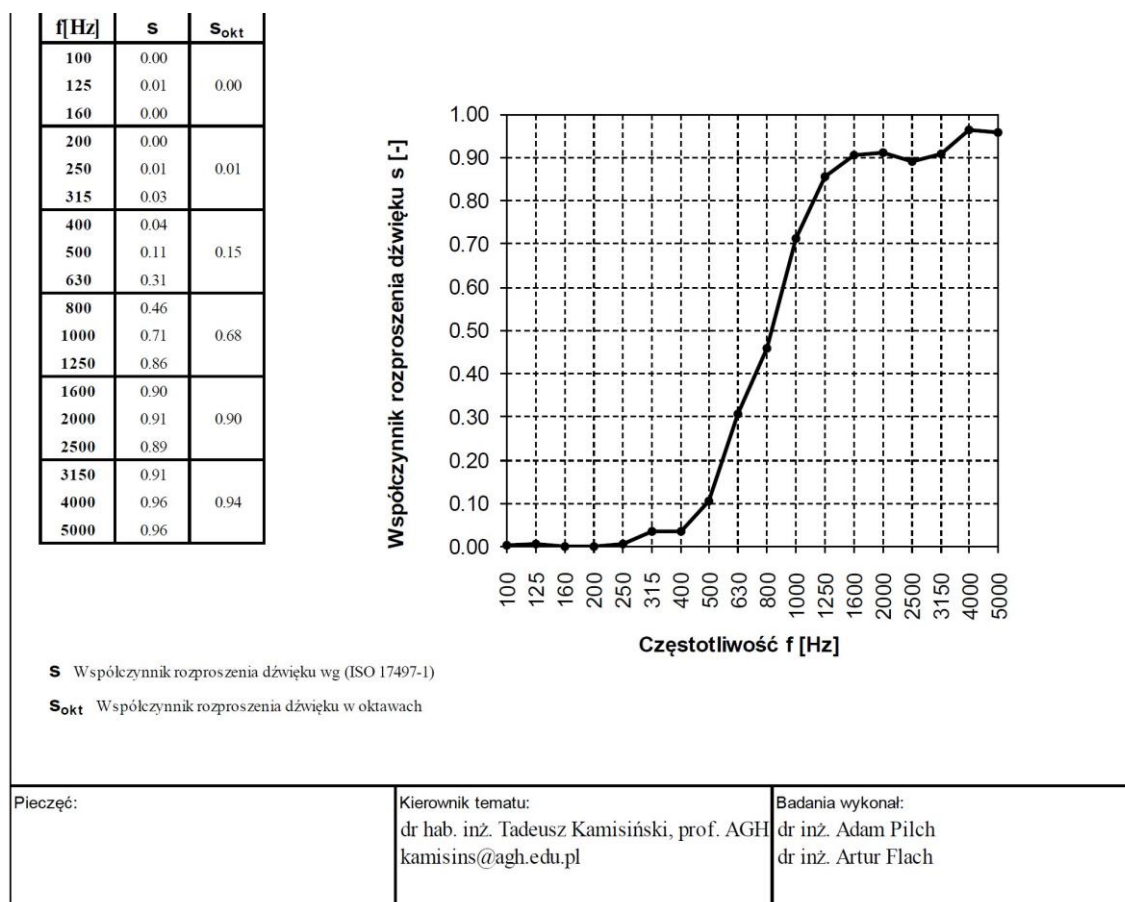


FOTO. Ustrój akustyczny rozpraszający z motywem liścia klonu o wysokości od 4 cm do 18 cm półką poziomą i bez, zbliżenie elementu, wykres z wynikami badania.





Na podstawie charakterystyki przedstawionej na wykresie wyniku wartość rozpraszania rośnie od częstotliwości około 300 Hz (długość fali 1154 mm). Co związane jest z rozpraszaniem wynikającym z kielichowego kształtu ustrojów i wielokrotnym odbiciem dźwięku pod kątami pomiędzy ustrojami. Pierwsza wartość maksymalna mieści się w zakresie 1500 do 2500 Hz (231 do 138 mm). Drugie maksimum zarejestrowano dla częstotliwości 4000 Hz (87 mm). Charakterystyka wynika z wykorzystania struktur złożonych tylko ze ścianek, jak i wypełnionych na różnych wysokościach. Skos ścianek odpowiada za względną stabilność charakterystyki rozpraszania od pierwszego maksimum. Liczbę maksimów można modelować poprzez zawartość elementów z wypełnieniem na różnej wysokości, identycznie jak w przypadku ustrojów Schroedera i Helmholtz'a. Maksymalna głębokość struktury i szerokość całego panelu ma wpływ na dolną częstotliwość graniczną, natomiast szerokość pojedynczej studzienki rzutuje na górną częstotliwość graniczną.

Celem badania (R-ZB nr 9) próbki 10, próbki 11 i próbki 12 był pomiar współczynnika rozpraszania dźwięku s w komorze pogłosowej trzech kompozycji składających się z powtarzalnych elementów rzeźbiarskich za pomocą których można będzie zdefiniować użyteczne pod względem akustycznym kształty, kąty, płaszczyzny do wykorzystania w innych realizacjach artystycznych o funkcji akustycznej. Zbadano trzy kompozycje w krótkim okresie czasu w identycznych warunkach temperatury i wilgotności w komorze pogłosowej wprowadzając zmiany geometrii ustroju w każdym kolejnym badaniu. Podobieństwa w geometrii ustrojów przekładają się na podobieństwa w przebiegu charakterystyki rozpraszania. Brak rozpraszania dźwięku do częstotliwości 800 Hz (długość fali 433 mm) wynika z braku kanałów o długości większej niż połowa tej granicznej długości fali. Wzrost współczynnika rozpraszania do wartości maksymalnej 2500 Hz (138 mm) wynika w większej części z wysokości ustroju oraz w mniejszej części z kąta nachylenia ścian i może być modelowana poprzez zmianę geometrii. Wartość stała rozpraszania od wartości 2500 Hz wynika z krzywizny ścian. Ponieważ ściany są w zasadzie proste i odchylone od pionu, pozwalają na równomierne rozproszenie fal dla każdej z częstotliwości powyżej pierwszej maksymalnej wartości stałej. Graniczną dolną częstotliwość rozpraszania można modelować poprzez wysokość ustroju, z kolei dynamikę wzrostu charakterystyki oraz wartość rozpraszania można modelować poprzez zmianę kąta nachylenia ścian. Należy jednak brać pod uwagę, że zbyt pionowe ustawienie ścian spowoduje dynamiczny wzrost i spadek na charakterystyce rozpraszania. Można to zjawisko wykorzystać do modelowania ustrojów rozpraszających określone wąskie zakresy częstotliwości metodami podobnymi do obecnych metod modelowania dwuwymiarowych ustrojów Schroedera i Helmholtza.



FOTO. Próbką nr 10 i nr 11.



FOTO. Trzykrotne badanie rzeźbiarskiego ustroju akustycznego podczas zmian formy rzeźbiarskiej: kompozycja z powtarzającego się motywu wysokości 6-8 cm i kątach ścianek od 20° do 40° (próbka nr 10) kompozycja pomniejszona o 30% elementów (widoczne ceramiczne tło kompozycji – próbka nr 11), kompozycja uzupełniona rzeźbionymi elementami wysokości od 10 cm do 25 cm (próbka nr 12)

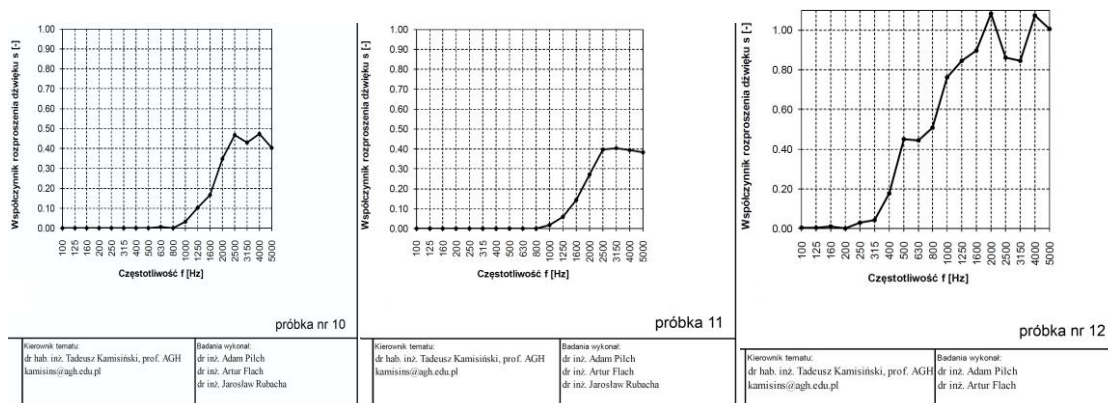
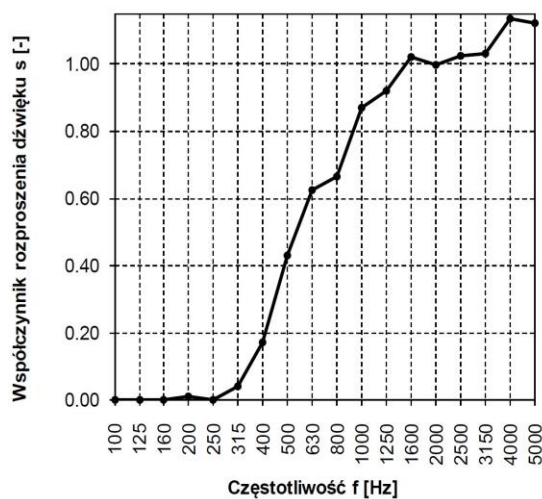


FOTO. Wyniki badań akustycznych w komorze pogłosowej na wyznaczenie współczynnika α (rozpraszanie dźwięku)

Trzecia sekwencja dwóch badań polegała na wyznaczeniu współczynnika rozpraszania s dużej kompozycji rzeźbiarskiej oraz pomiar po zmianie geometrii 30 elementów. Zastosowanie bardzo różnorodnych form, które symulowałyby większość swobodnych kompozycji rzeźbiarskich skutkowało wysokim współczynnikiem rozpraszania poczynając od 500 Hz.

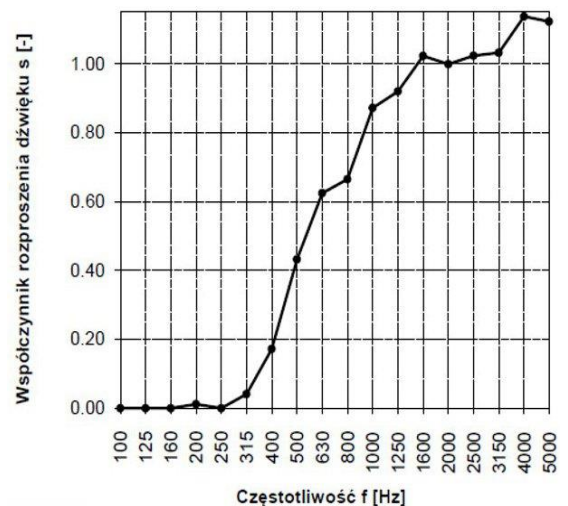




(7497-1)
awach

próbka nr 9

Kierownik tematu: dr hab. inż. Tadeusz Kamiński, prof. AGH kamisins@agh.edu.pl	Badania wykonał: dr inż. Adam Pilch dr inż. Artur Flach
--	---



próbka nr 9b

Kierownik tematu: dr hab. inż. Tadeusz Kamiński, prof. AGH kamisins@agh.edu.pl	Badania wykonał: dr inż. Adam Pilch dr inż. Artur Flach
--	---

FOTO. Pomiar współczynnika rozpraszania 7,07 m² dyfuzora o złożonych, rzeźbiarskich formach z dużą powierzchnią tła i elementami do 25 cm wysokości. Badanie dodatkowe dało odpowiedź czy wymiana 60 elementów na wersję z poziomą płaszczyzną ma wpływ na ogólny charakter rozpraszania.

Na wykresach jest widoczny brak rozpraszania do częstotliwości około 315 Hz. Przy podanych warunkach klimatycznych prędkość dźwięku wynosi 346,1 m/s. Częstotliwość 315 Hz odpowiada długości fali dźwiękowej wynoszącej 1099 mm. Dźwięk o tej długości fali odbija się od badanych ustrojów, ponieważ największe rozmiary, na jakie natrafia, są mniejsze niż połowa tej długości, czyli 550 mm. Możliwe jest nieznaczne zwiększenie rozpraszania niskich częstotliwości poprzez rozsuniecie ustrojów akustycznych lub zwiększenie ich wysokości. Współczynnik rozpraszania zwiększa się wraz ze wzrostem częstotliwości. Związane jest to ze złożoną geometrią testowanych układów. Ustroje jako całość wraz ze szczelinami pomiędzy nimi są odpowiedzialne za rozpraszanie dźwięku o częstotliwości od około 300 Hz do około 1600 Hz. Jest to wynikiem wymiarów fizycznych ustrojów w rzucie z góry. Częstotliwość 1600 Hz odpowiada długości fali 216 mm, czyli medianie wysokości ustrojów. Wartość rozpraszania rośnie dynamicznie do wartości 1600 Hz, po czym stabilizuje się. Wartość ta zależy od wysokości ustrojów, natomiast graniczna częstotliwość górna związana jest z rozmiarem szczelin. Składowymi rozpraszającymi w zakresie 300 – 1600 Hz są odpowiednio: 315 – 630 Hz (1099 – 549 mm) – całe ustroje wraz ze szczelinami oraz najbliższym sąsiedztwem, 630 – 800 Hz (549 – 433 mm) – zahamowanie dynamiki rozpraszania wynikłe z uśrednionego wpływu deficytu długości sumy średnicy ustrojów i szczelin między nimi, 800 – 1600 Hz (433 – 216 mm) – ustroje i ich największe szczeliny konstrukcyjne (struktura w rzucie z góry), oraz szczeliny pomiędzy ustrojami.

Stała w przybliżeniu wartość rozpraszania od 1600 Hz do 3150 Hz (110 mm) jest związana z dominacją tego rozmiaru w testowanych ustrojach (nachylenie ścian), czyli samą geometrią. Ponadto nie bez znaczenia jest fakt występowania pułapek dźwiękowych pomiędzy ustrojami, które powodują odbijanie fal dźwiękowych, które tam wpadną (od częstotliwości 1600 Hz każda szczelina stanowi pułapkę), w różne strony. Zwiększenie rozpraszania od częstotliwości 3150 Hz związane jest z urozmaicheniem struktury powierzchniowej ustroju. Ze względu na zakres badań zgodnych z polską normą, kończących się na częstotliwości 5000 Hz (69 mm) oraz schematy ustrojów można jedynie domniemać, że rozpraszanie w wyższych częstotliwościach powinno rosnać. Dynamika rozpraszania w wysokich częstotliwościach zależy wyłącznie od projektu ustroju. Na podstawie wykonanych badań próbek z i bez wypełnienia nie zauważono żadnych zmian w rozpraszaniu w zakresie 100 – 5000 Hz. Ponieważ w próbkach wykorzystano zmiany strukturalne ustrojów, a nie ich liczbę, wielkość oraz rozmieszczenie przestrzenne, zmiany można by zaobserwować wyłącznie w zakresie wysokich częstotliwości nieobjętych polską normą. Należy spodziewać się dalszego wzrostu dynamiki rozpraszania od częstotliwości 3150 Hz dla obu rodzajów ustrojów, jednak w przypadku ustrojów wypełnionych, dynamika rozpraszania powinna w pewnym momencie spaść w związku z eliminacją składowych o rozmiarze rzędu kilku do kilkunastu mm. Oznacza to, że wykresy rozpraszania powinny być podobne do częstotliwości około 15000 Hz (dla testowanych

ustrojów) co odpowiada długości fali 23 mm oraz wielkości struktury rozpraszającej około 11 mm. Zaznaczyć należy, że struktura części zaprojektowanych ustrojów pozwala ze względu na gęstość szczelin na rozpraszanie dźwięku także o wyższych częstotliwościach, jak również wpływa na poziom tłumienia dźwięku.

Wykonano sekwencje pomiarów ustrojów w komorze bezechowej AGH w Krakowie w celu wyznaczenia kierunkowego współczynnika rozpraszania dźwięku dla próbki nr 1 składającej się z powtarzalnych elementów rzeźbiarskich w formie liścia klonu i klasycznego dyfuzora Schroedera, który jest kopią ustroju znajdującego się w handlu.

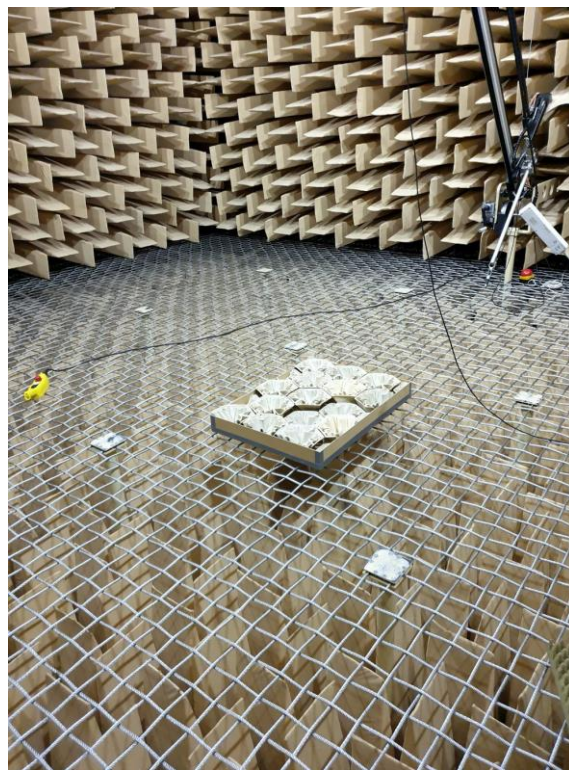
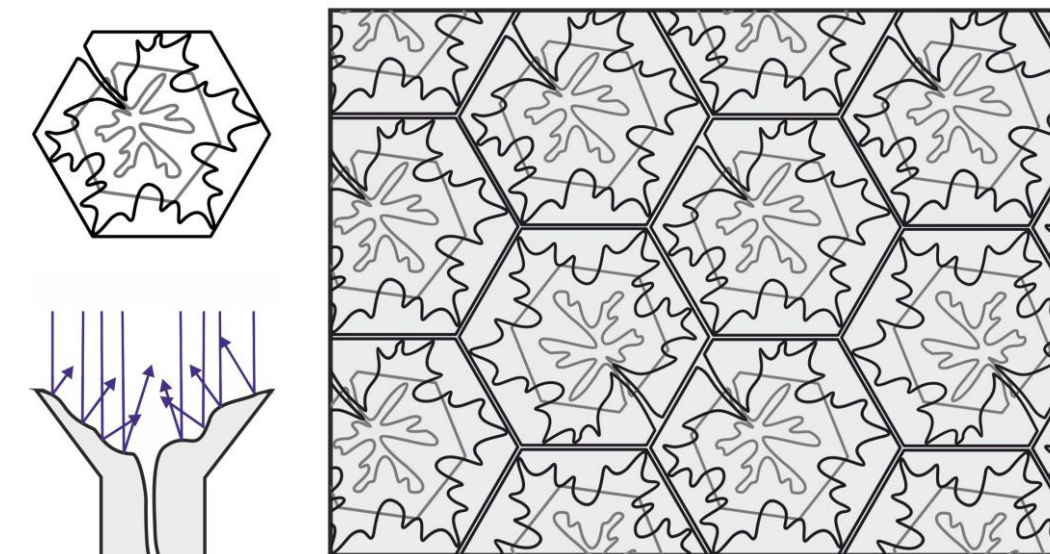


FOTO. Powtarzający się motyw liścia klonu o różnych wysokościach badany w komorze bezechowej



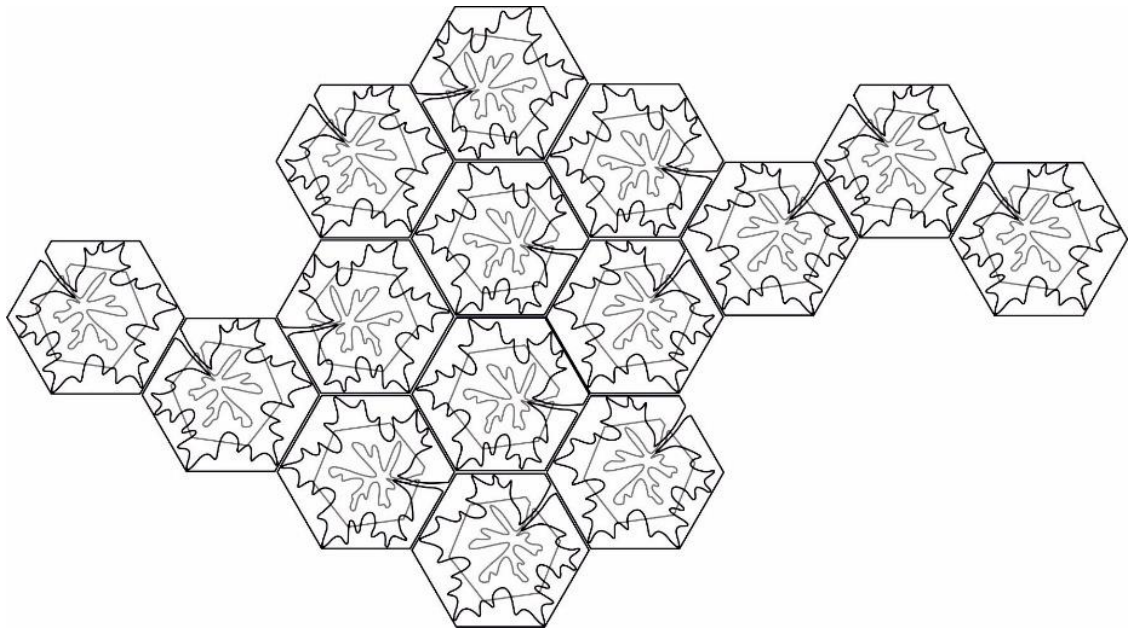


FOTO. Możliwe różne układy kompozycyjne ustroju.



FOTO. Dyfuzor Schroedera

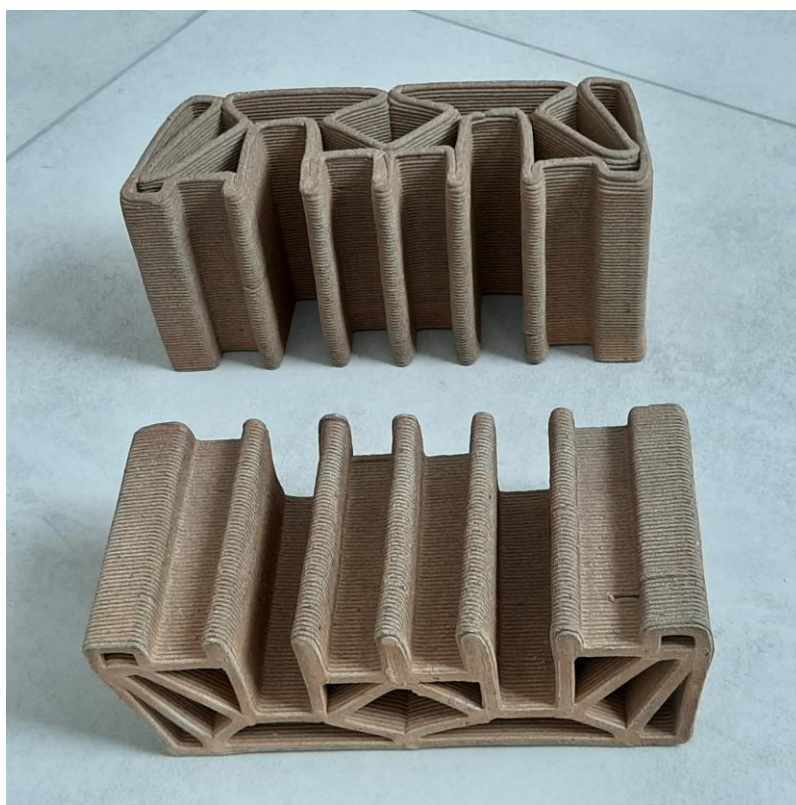
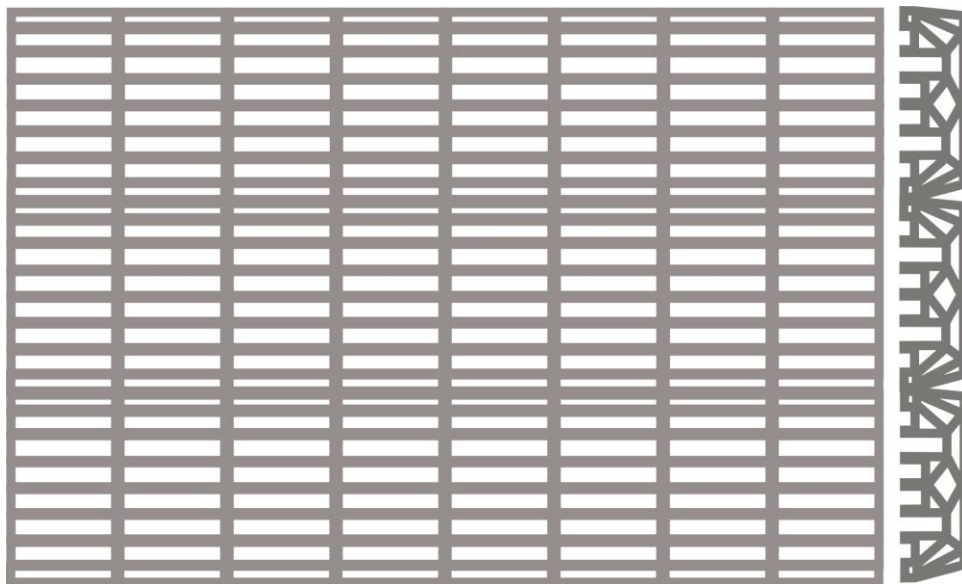


FOTO. Budowa dyfuzora Schroedera.



Fundusze Europejskie
Inteligentny Rozwój



**Rzeczpospolita
Polska**

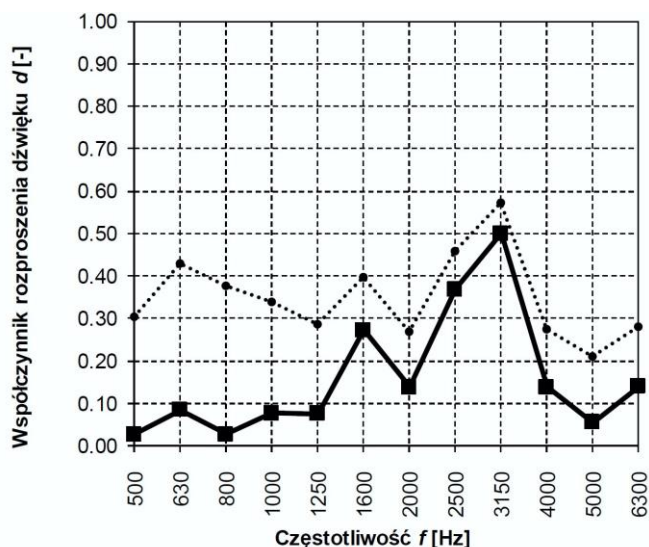


Narodowe Centrum
Badania i Rozwoju

Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego



f [Hz]	d	d_{norm}
500	0.30	0.03
630	0.43	0.09
800	0.38	0.03
1000	0.34	0.08
1250	0.29	0.08
1600	0.40	0.27
2000	0.27	0.14
2500	0.46	0.37
3150	0.57	0.50
4000	0.27	0.14
5000	0.21	0.05
6300	0.28	0.14



d Współczynnik kierunkowego rozproszenia dźwięku wg (ISO 17497-2)

d_{norm} Współczynnik kierunkowego rozproszenia dźwięku znormalizowany do wartości płaskiej płyty

FOTO. Dyfuzor Schroedera wykonany z masy ceramicznej, wyniki badania.

- h) Na podstawie wyników badań ustrojów akustycznych o swobodnej formie rzeźbiarskiej można wnosić, że zdefiniowanie form i kątów koniecznych do osiągnięcia oczekiwanych własności akustycznych ustroju jest możliwe na drodze kolejnych realizacji i pomiarów. Każda kolejna próba zawęża zestaw środków do osiągnięcia zamierzonego parametru. Wysiłek wydaje się konieczny z uwagi na brak alternatywy. W kontekście wykonanych prób i badań zaniechano matematycznej metody elementów skończonych FEM, (ang. Finite Element Method) do projektowania ustrojów akustycznych, która okazała się metodą obciążoną dużym marginesem błędu z koniecznością korygowania go w toku produkcji kolejnych wersji ustrojów akustycznych w materiale. Ponad to FEM jest metodą, czasochłonną, wymagającą od kompetentnego personelu korzystania z rozbudowanych programów komputerowych, co w przypadku wykonywania usług i produkcji wydaje się mało zasadne.

- i) **Budowa dekodera (R-ZB nr 18).** W konsekwencji zwiększonej liczby funkcji głowic drukujących 3d w stosunku do tradycyjnego sterowania maszynami cyfrowymi zaprojektowano i wykonano dekodery, którego zadaniem jest analizowanie danych o przemieszczeniu głowicy i wykonywanie zapisanego programu w ściśle określonych momentach ruchu narzędzia w czasie rzeczywistym.

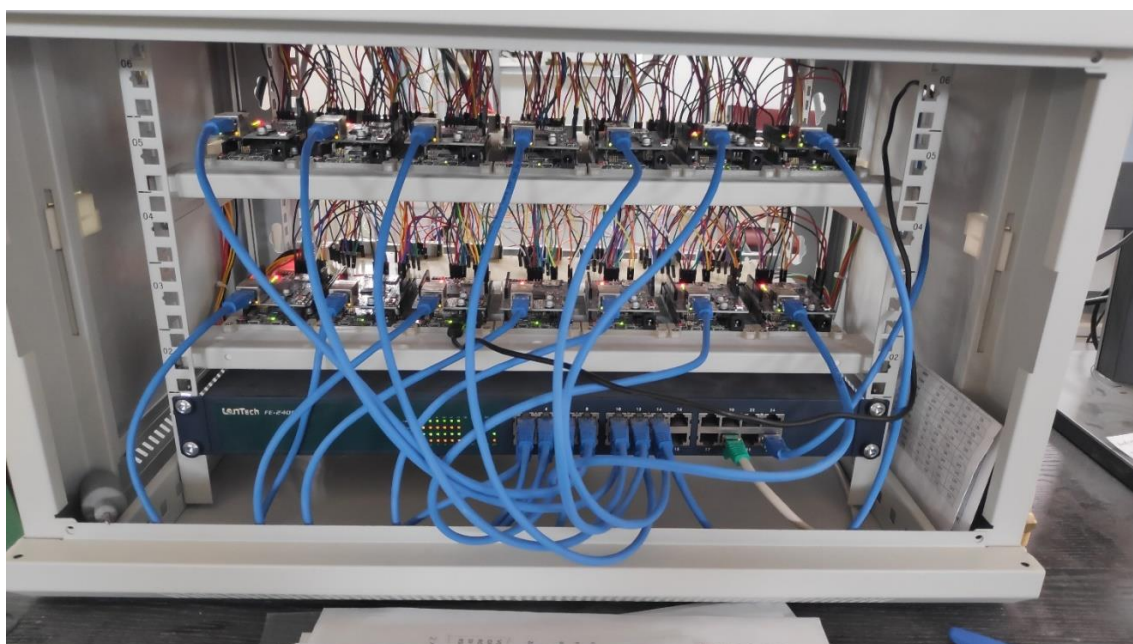


FOTO. Zmontowany układ dekodera w szafie modułowej RACK 6U

W skład urządzenia wchodzi:

- 14 płytek Arduino Due AT91 SAM3X8E wraz z modułami do komunikacji sieciowej Wiznet w5100 zamontowane na dwóch płytach metalowych po 7 sztuk
- Switch 24 portowy Lantech FE-2400
- Zasilacz elektroniki ATX 500W dający napięcia +12V, +5V +3.3V
- Płytkę PCB odbioru sygnałów pozycji głowicy drukującej (płytkę konwerterów logicznych)
- Dwóch płytek PCB rozprowadzenia sygnałów dla modułów Arduino

Sygnały ze sterownika CNC urządzenia z informacją o pozycji narzędzia trafiają do płytki konwerterów logicznych, gdzie następuje konwersja sygnałów na poziom, który jest wymagany dla kontrolera Arduino, (schemat elektryczny pytki na foto). Sygnały wyprowadzone ze sterowania CNC są przetwarzane przez sześć konwerterów sygnałów. Następnie sygnały te trafiają do dwóch płytek rozprowadzenia sygnałów, które powielają i rozdzielają sygnały z pozycją dla każdego z modułów Arduino . Płytki Arduino zaprogramowane są z użyciem programu specjalnie napisanego do sterowania badanymi głowicami. Moduły na podstawie sygnałów obliczają aktualną pozycję głowicy. Płytki wraz z konwerterami sieciowymi podłączone zostały do switcha co zapewnia komunikację z kontrolerami oraz ładowanie komend sterujących dla głowic. Każdy z modułów ma swój adres sieciowy konieczny do identyfikacji i rozsyłania poleceń sterujących, adresy są z przedziału 10.1.1.101 do 10.1.1.114. Funkcję elementu nadrzędnego, który rozdziela komendy do odpowiednich modułów pełni komputer wraz z napisanym autorskim oprogramowaniem, które wysyła komendy za pośrednictwem switcha z odpowiednią adresacją do modułów. Każdy z dekodów ma taką samą funkcjonalność. Posiadają one wyjście PWM (PWM_OUT) do sterowania serwomechanizmami, wyjście binarne I/O (włącz/wyłącz XYZ_OUT) oraz wyjście do sterowania silnikiem krokowym (sygnały DIR)OUT, ENBALE_OUT, STEP_OUT). Dekoder odpowiada za pojedynczy układ wykonawczy. W przypadku głowicy kolor do sterowania 10-cioma elektrozaworami wykorzystano 10 dekodów. Jako sygnału sterującego użyto wyjścia typu włącz/wyłącz.

Schemat elektryczny pojedynczego dekodera przedstawia foto. Każdy z kolejnych dekodów posiada ten sam schemat, wszystkie są połączone w szeregu do linii którymi przesyłane są impulsy związane z pozycją, w skutek czego informacje o pozycji trafiają do wszystkich dekodów (STEP_X, DIR_X, STEP_Y, DIR_Y, STEP_Z, DIR_Z). Sygnały sterujące z dekodów trafiają na złącza śrubowe na płytce, które ułatwiają podłączenie elementów wykonawczych do dekodów.

Ładowanie listy komend do dekodów odbywa się przed rozpoczęciem ruchu maszyny, po poprawnym załadowaniu danych. Hashcode wykonywany jest programem sterującym (gcode), który odpowiada za ruch głowicy. Dekodery mając informację o aktualnym położeniu oraz listę komend w pamięci porównują czy aktualna pozycja głowicy odpowiada pozycji zapisanej w pamięci, jeśli dane pokrywają się dochodzi do zasterowania elementem wykonawczym przez dany dekodek.

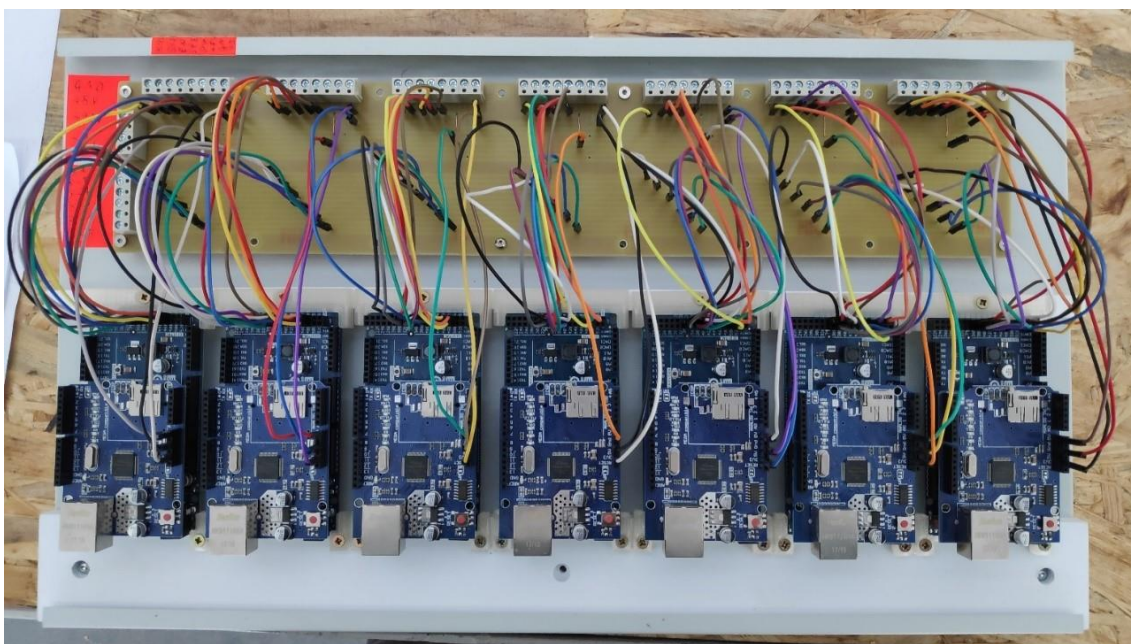


FOTO. Jedna z dwóch płyt z modułami Arduino i płytką rozproszczenia sygnałów

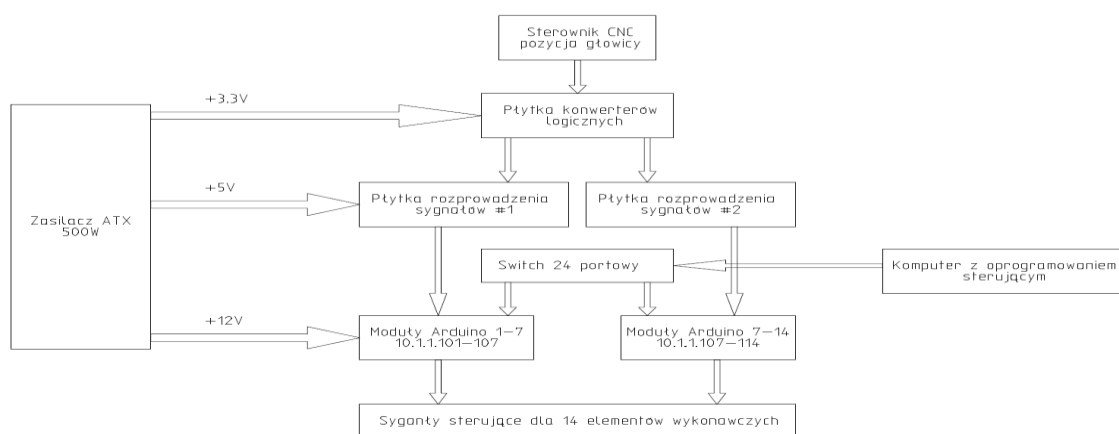


FOTO. Schemat blokowy przedstawiający strukturę dekodera.

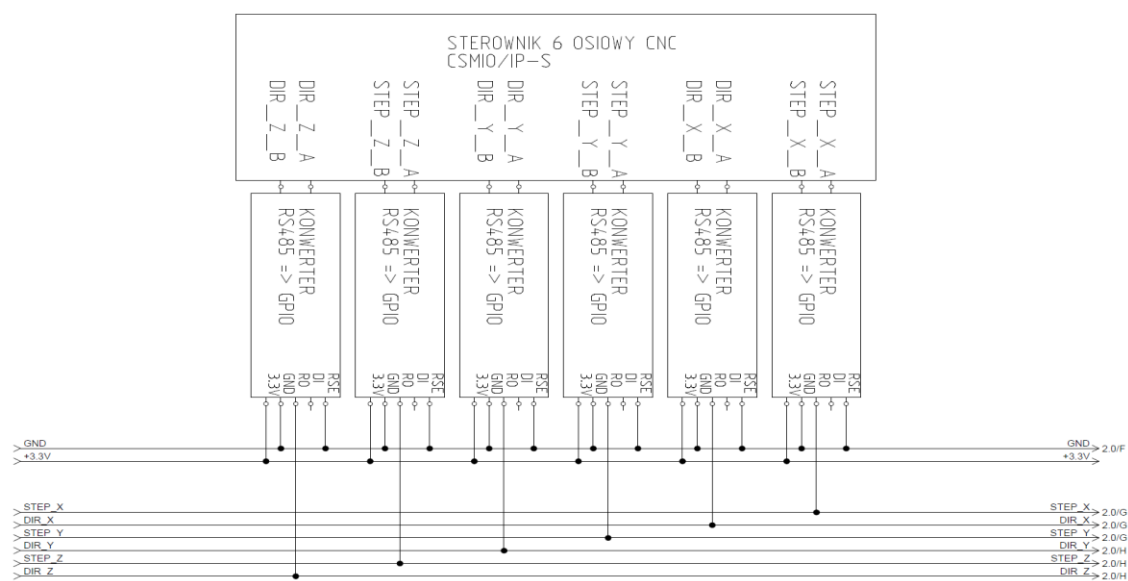


FOTO. Schemat elektryczny płytki konwerterów logicznych.

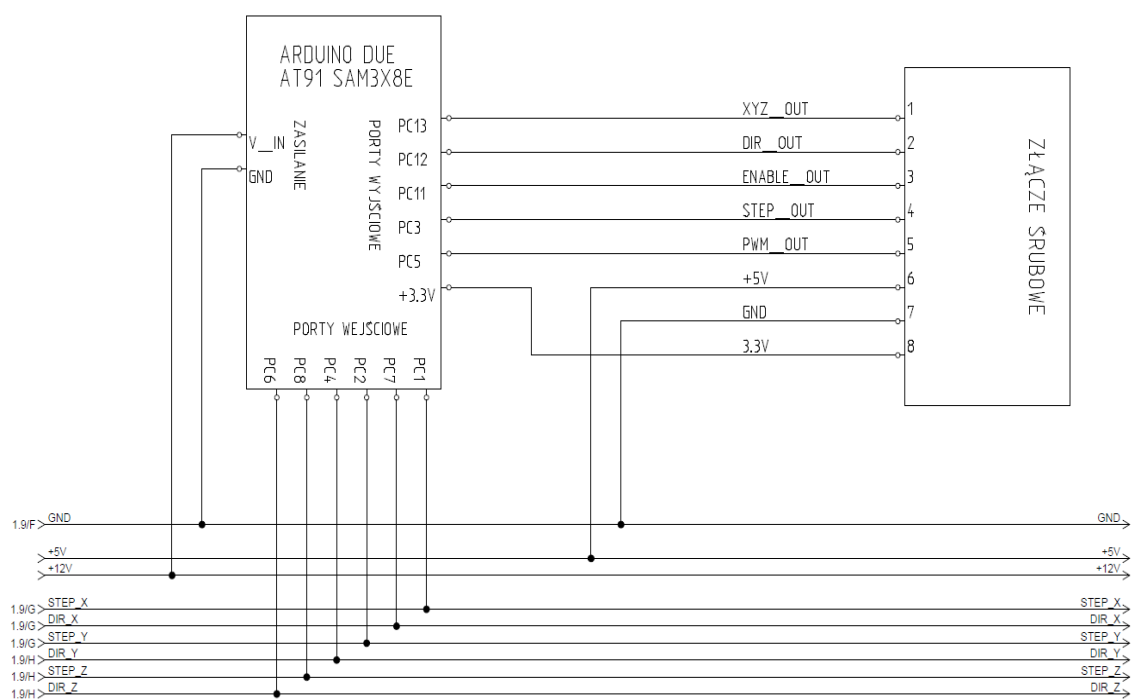


FOTO. Schemat elektryczny pojedynczego dekodera.

- j) Zaprojektowano system i wykonano urządzenie do mieszania i podawania masy do głowicy drukującej 3d. Rozwiązano problem mieszania wielu składników o niejednorodnym charakterze, odpowietrzania masy, ładowania mas do kaset zasilaających głowicę 3d.

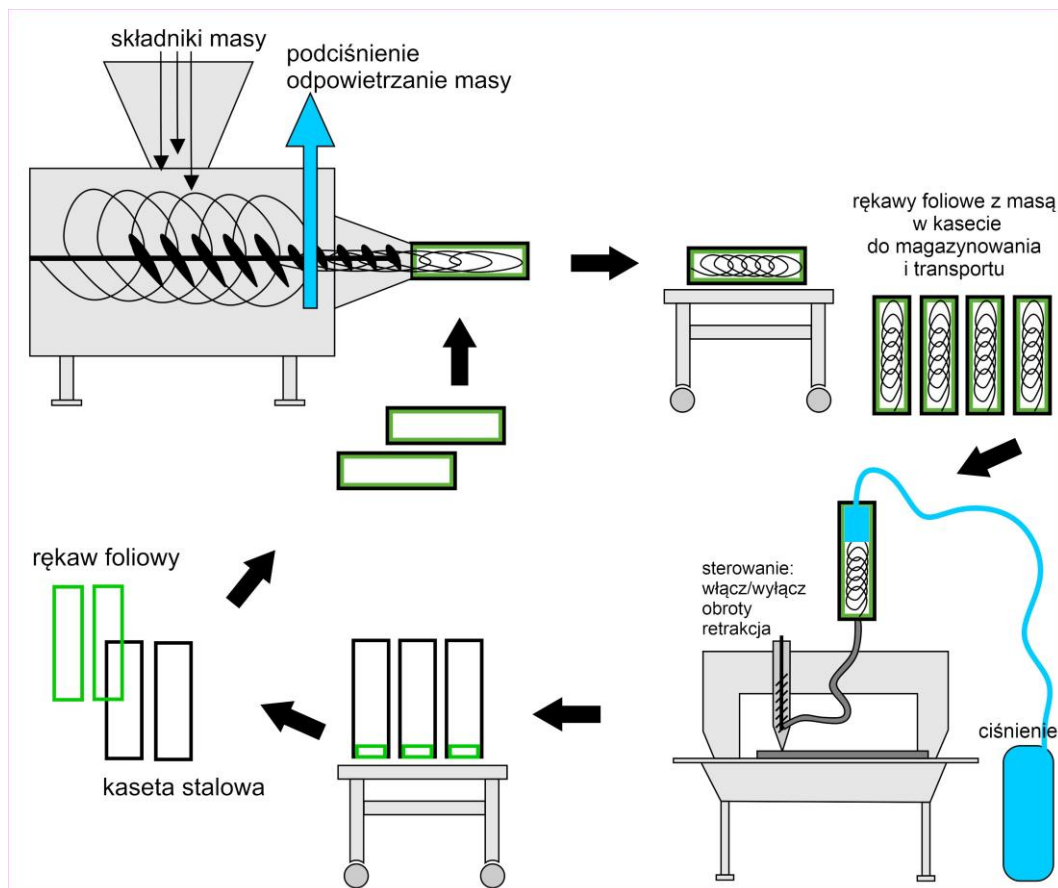


FOTO. Schemat systemu podawania mas do głowicy 3d.



FOTO. Kasety z masa zasilaającą głowicę 3d.



FOTO. Mieszalnik z funkcją odpowietrzania masy i systemem dokującym kasety z masą do druku 3d.

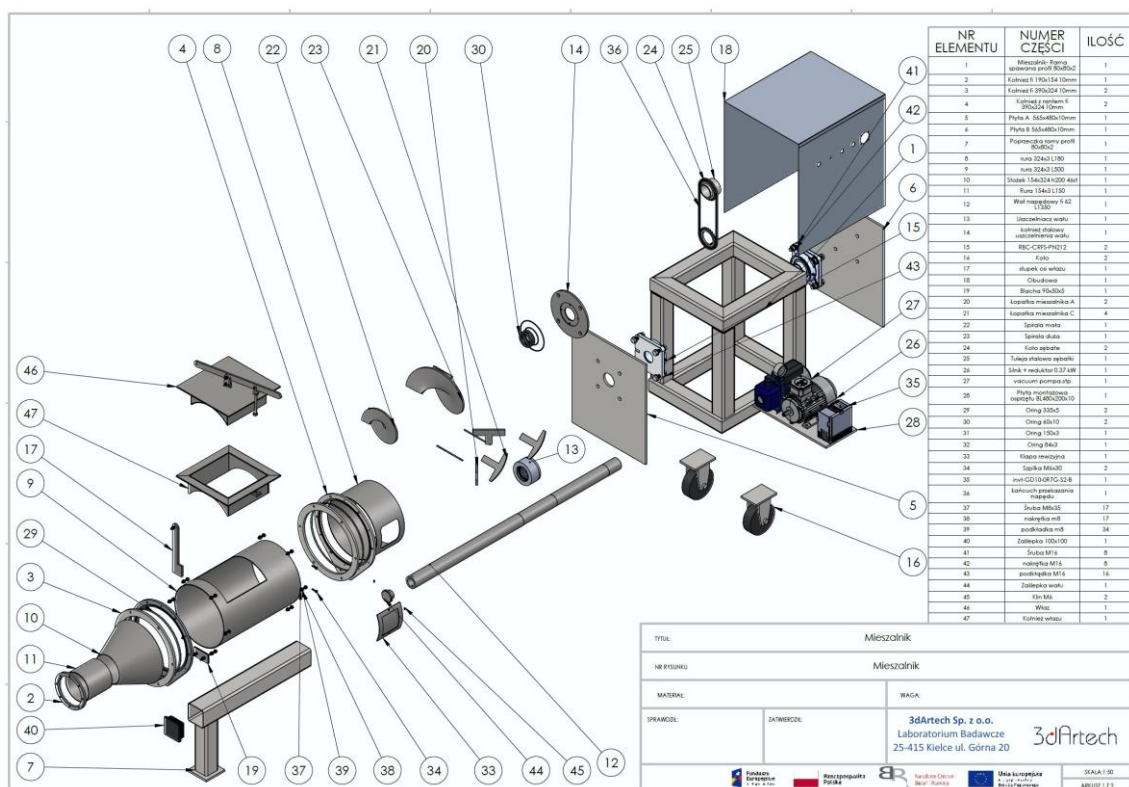


FOTO. Rysunek złożeniowy Mieszalnika z systemem odpowietrzania masy i dokowania kaset na masę.

k) Wykonano projekty ustrojów akustycznych w formacie stl, programu SOLIDWORKS, pdf i jpg (wizualizacje stl i slicer), które są konsekwencją badań prowadzonych w ramach projektu. Zwiększono rozmiary do użytkowych, wzmocniono te cechy ustrojów akustycznych, które odpowiadają za pochłanianie i rozpraszanie dźwięku. W wypadku pochłaniaczy zaprojektowano dłuższe, mniejsze w przekroju i bardziej złożone kanaliki natomiast w wypadku rozpraszaczy zwiększono różnice wysokości elementów odpowiadających za szersze spektrum długości fali akustycznej. Wprowadzono większą złożoność projektów pod kątem rzeźbiarskim w stopniu umożliwiającym kontynuację obserwacji wpływu swobodnych form rzeźbiarskich na modelowanie dźwięku. Pliki stl znajdują się na serwerze firmy 3dArtech w Kielcach.

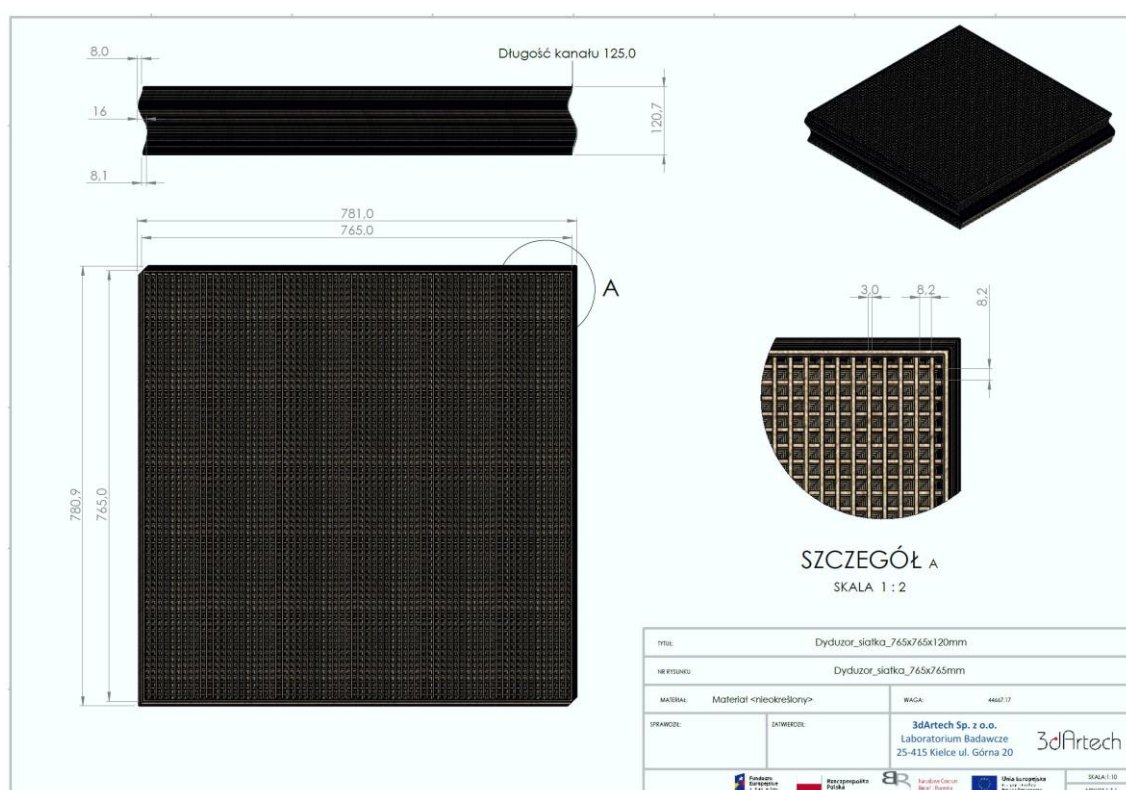


FOTO. Absorber dźwięku. Spodziewany współczynnik pochłaniania $\alpha=0,95$



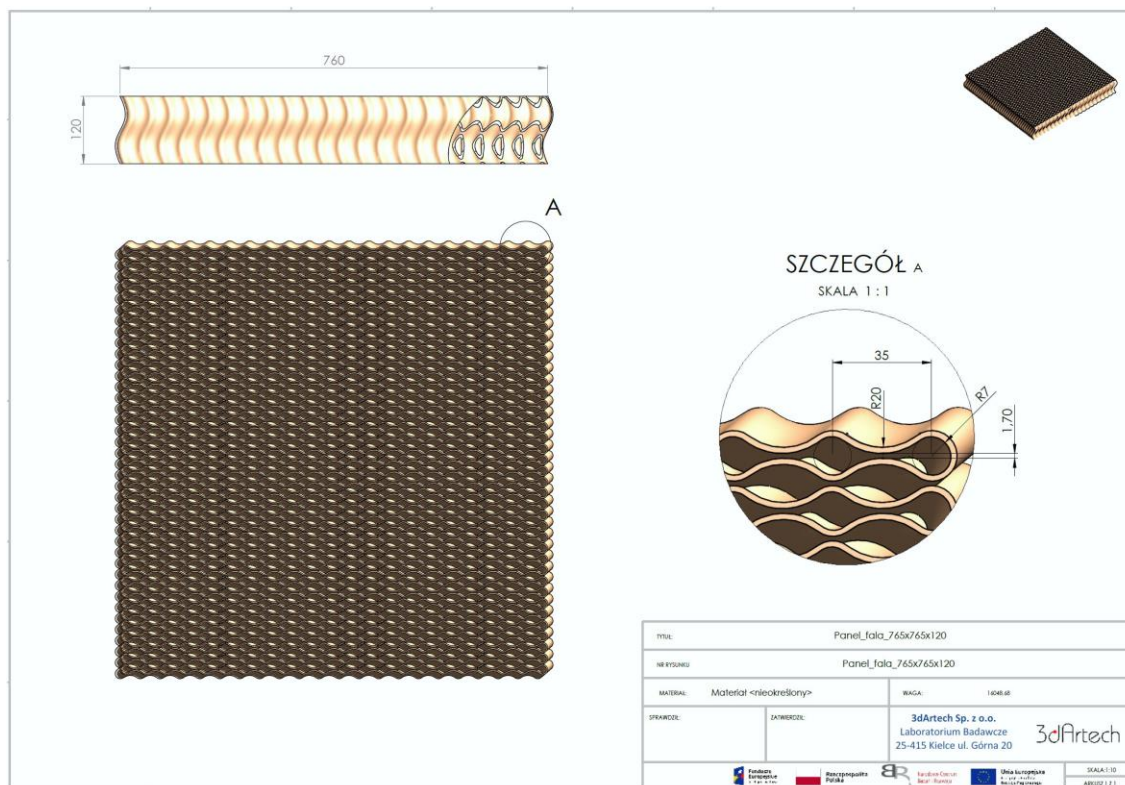
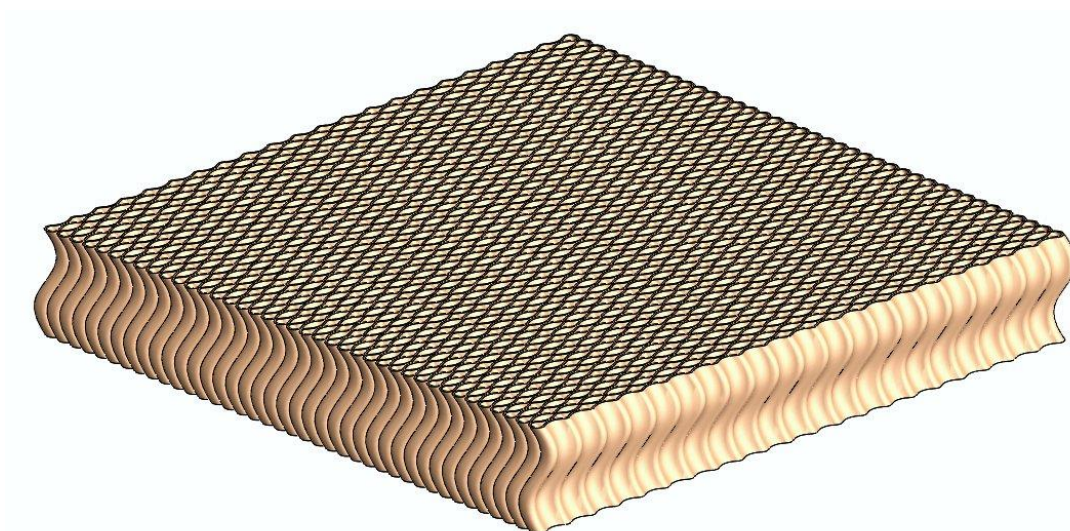


FOTO. Pochłaniacz dźwięku. Spodziewany współczynnik $\alpha=0,8$



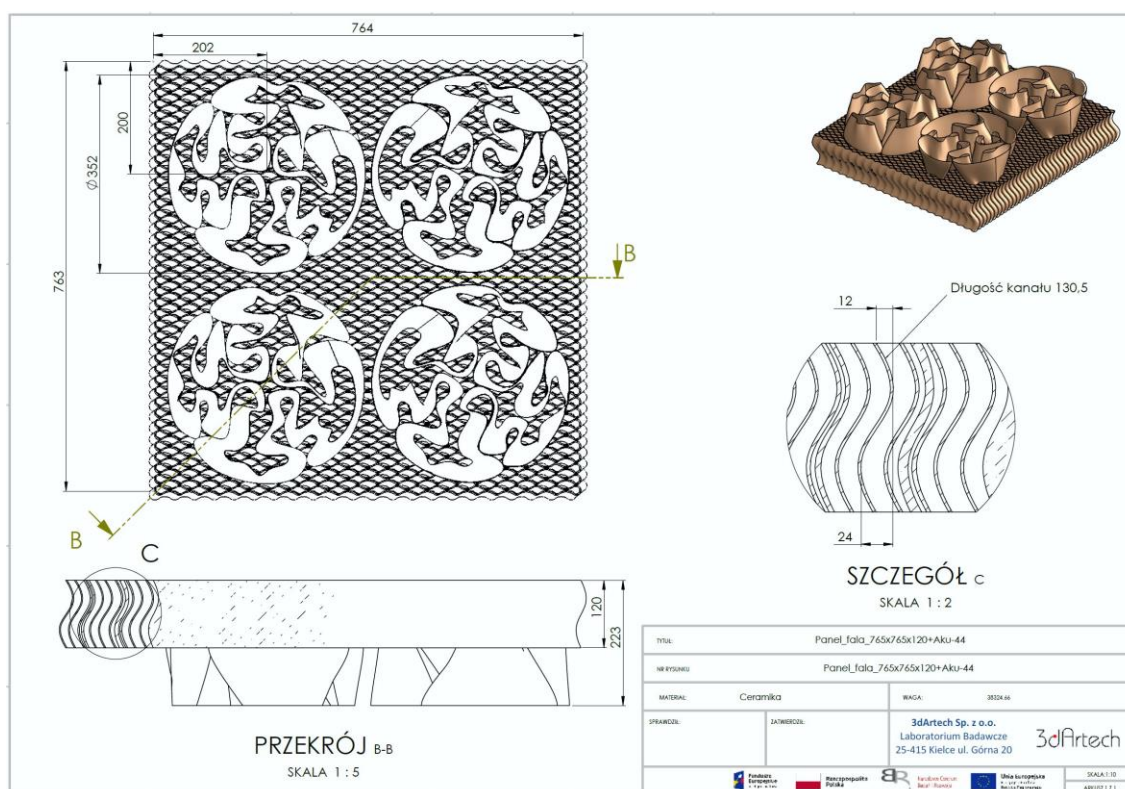
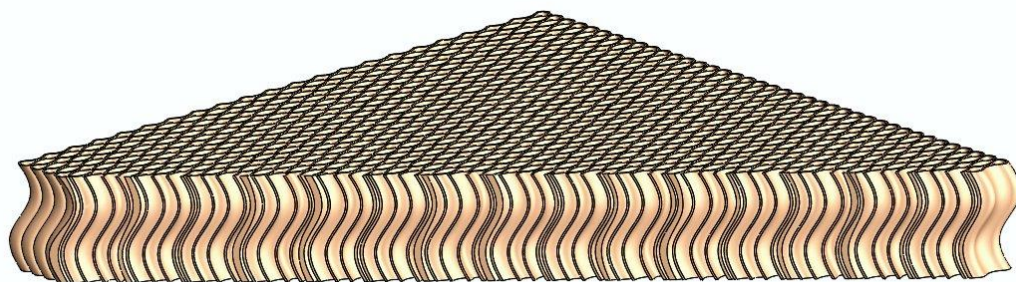


FOTO. Ustrój akustyczny z funkcją pochłaniania i rozpraszania dźwięku.

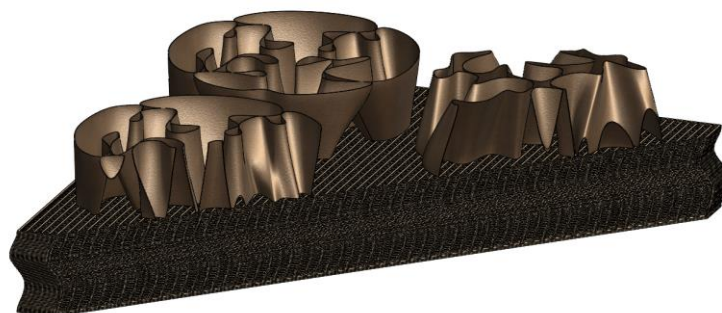
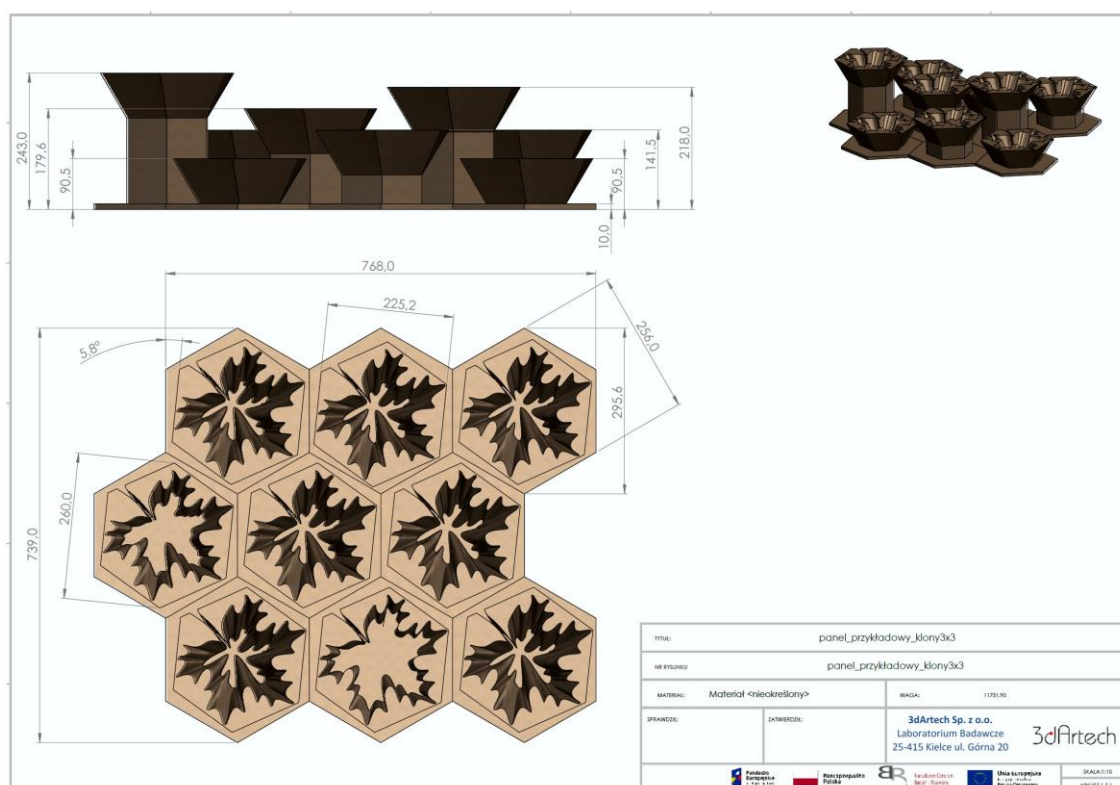


FOTO. Przekrój przez ustrój akustyczny.



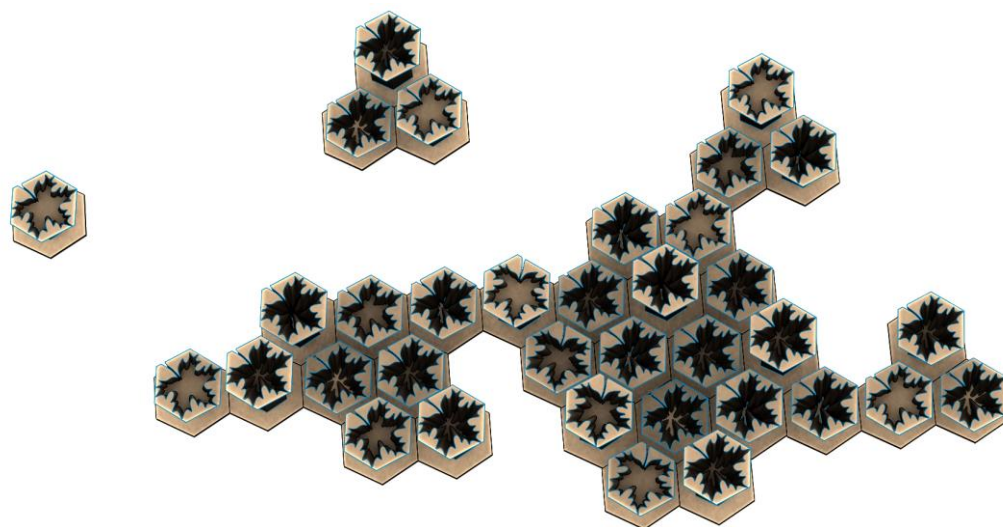
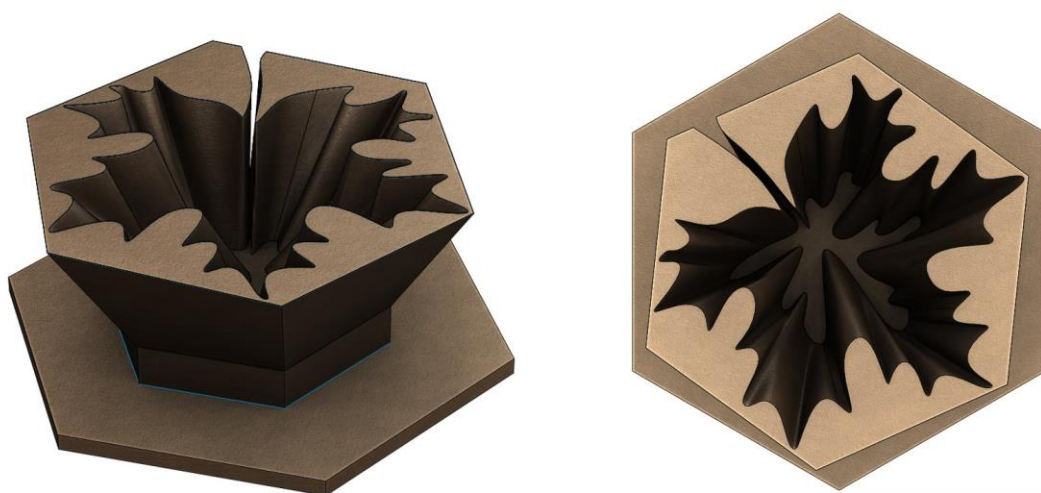


FOTO. Możliwość komponowania ustroju na ścianie z pojedynczych elementów.



FOTO. Możliwe do wydrukowania inne motywy rzeźbiarskie o różnych wysokościach ułożone w plaster miodu.

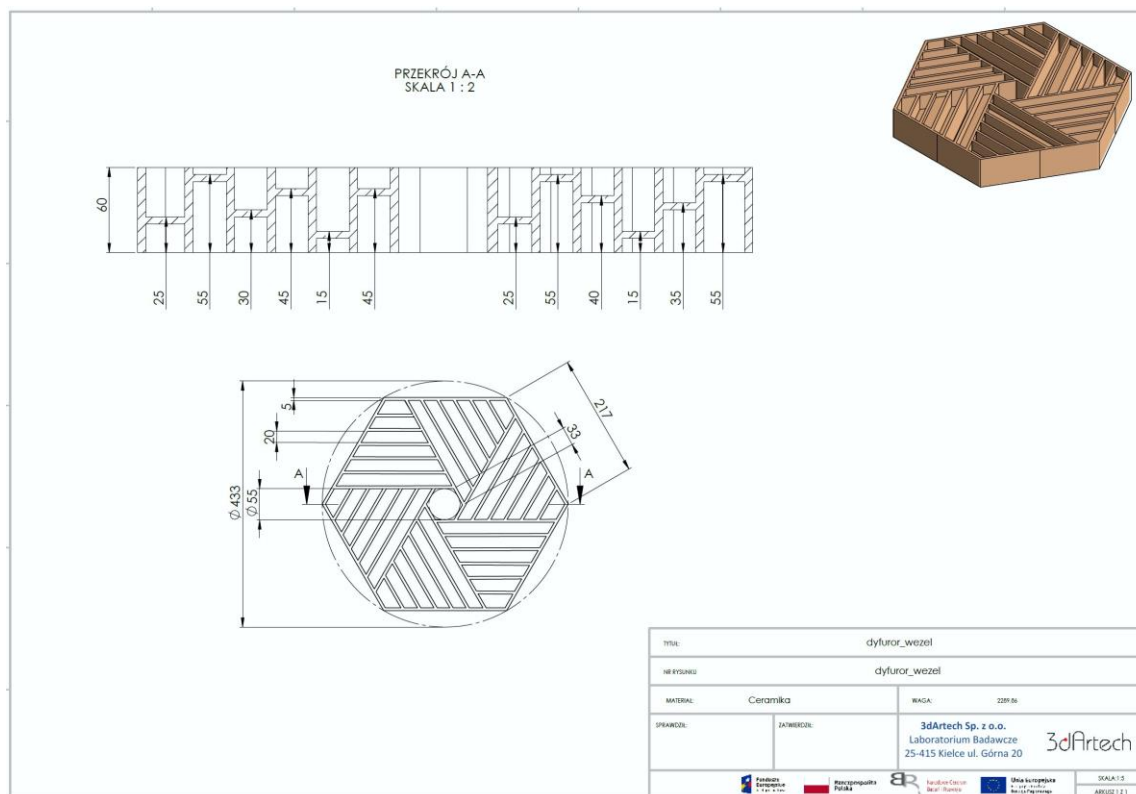


FOTO. Rozpraszacz Schroedera. Możliwość komponowania całej ściany.





FOTO. Rozpraszacz Schroedera o wymiarach 360 cm X 260 cm X 12 cm.



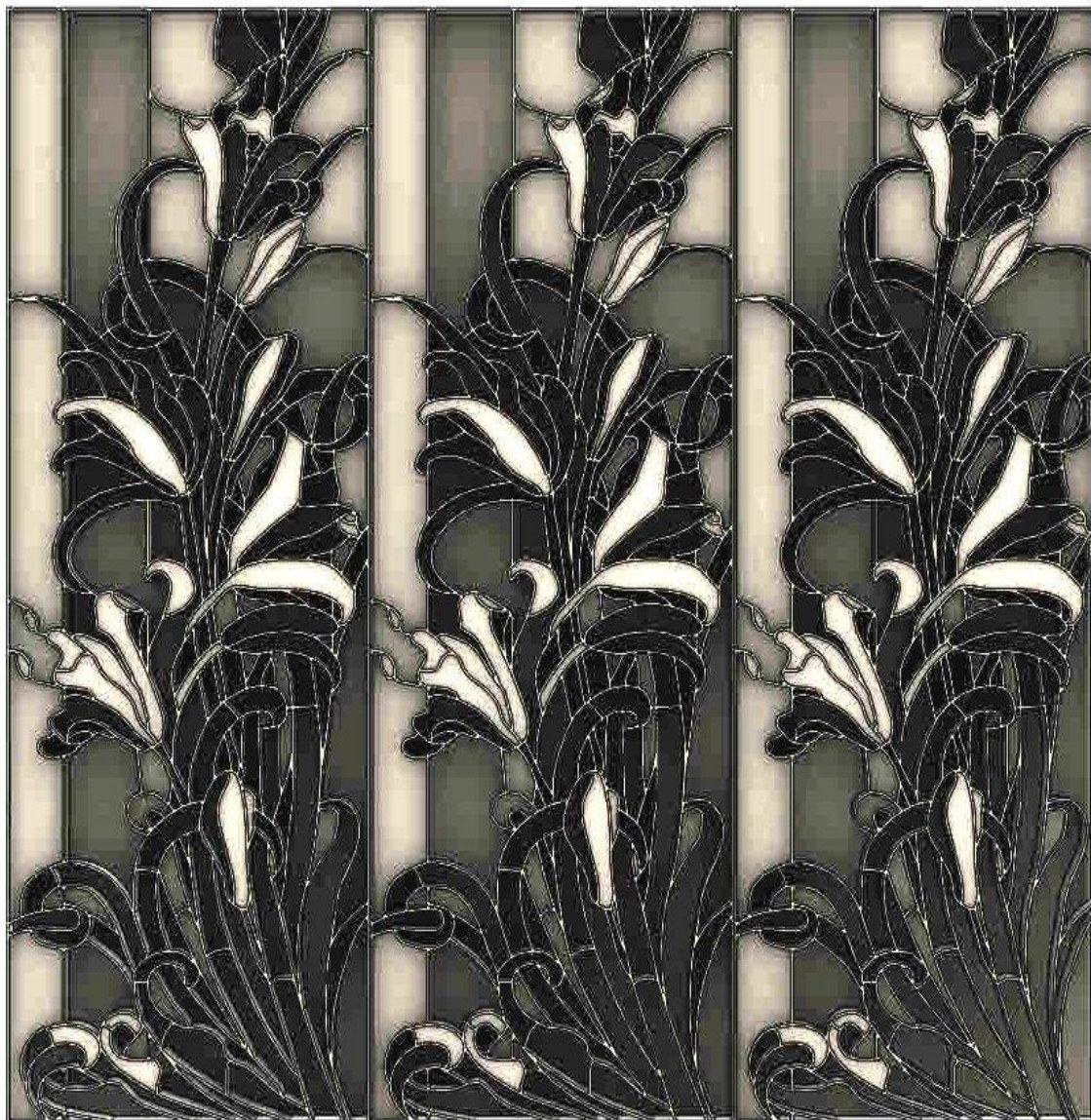


FOTO. Rozpraszacz Schroedera.



Fundusze Europejskie
Inteligentny Rozwój



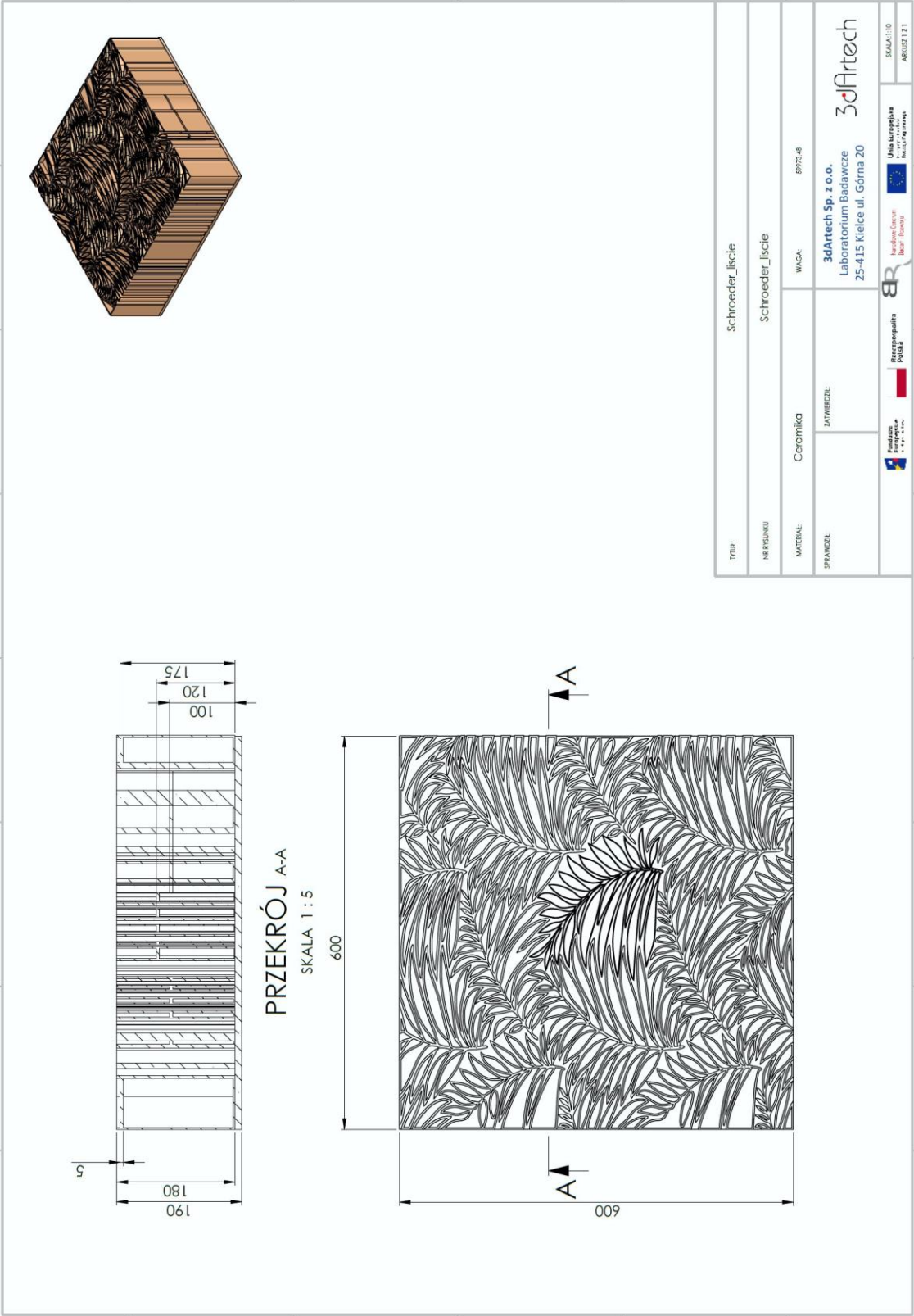
Rzeczpospolita Polska

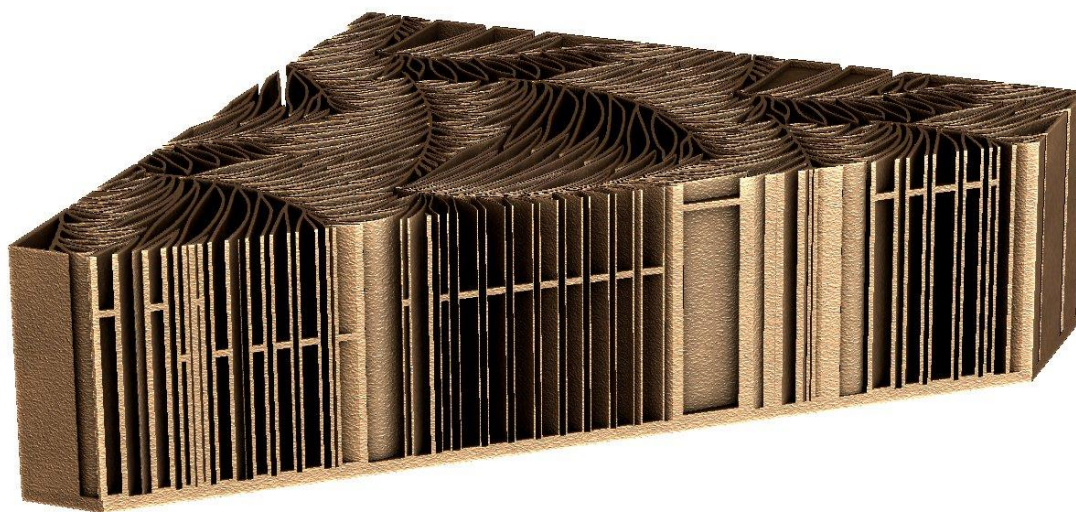


Narodowe Centrum
Badań i Rozwoju

Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego







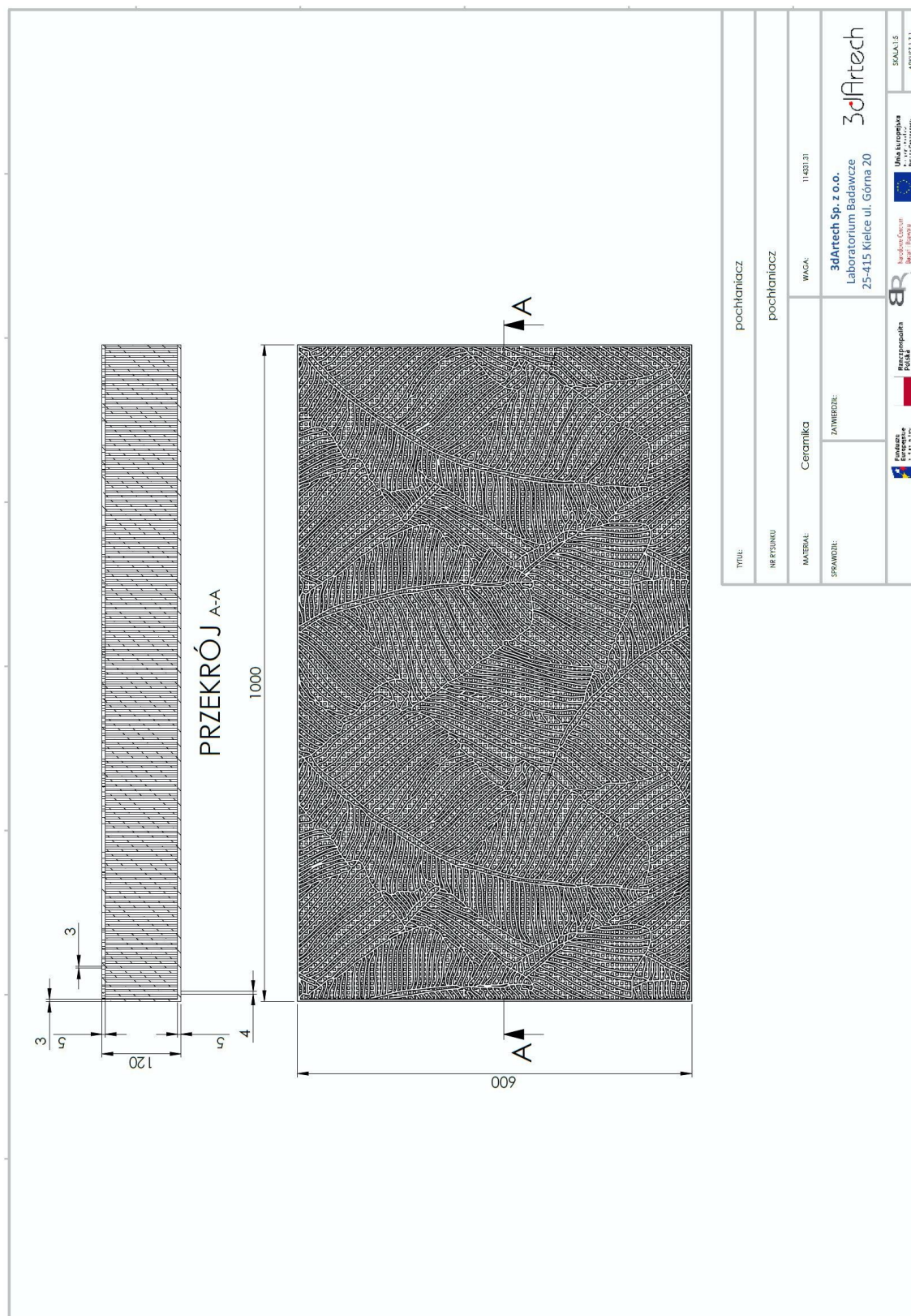


Foto. Pochłaniacz akustyczny $\alpha \approx 0,95$



- IV. Rekomendacje.** W ramach I etapu projektu dofinansowanego z funduszu operacyjnego NCBiR nr POIR.01.01.01-00-0737/18 pt. „Opracowanie i wdrożenie innowacyjnej technologii druku 3D do wykonywania przestrzennych struktur ognioodpornych, akustycznych oraz estetycznych” zostały rekomendowane następujące konstrukcje, techniki i technologie:
- 1) Ceramiczne masy z wypełniaczami organicznymi mineralnymi do drukowania urządzeniami 3d ustrojów akustycznych o funkcji rozpraszania i pochłaniania dźwięku (**R-ZBnr1, R-ZB nr 5**)
 - 2) Do druku pochłaniaczy dźwięku rekomenduje się struktury utworzone z kanałów o przekroju kilku milimetrów, przebiegu wzdłuż helisy i fakturą wynikającą z metody warstwowego druku 3d.
 - 3) Do druku paneli elewacyjnych i wewnętrznych rekomenduje się masy geopolimerowe oraz masy polimerowe o zwiększonej elastyczności, odporności na czynniki pogodowe i zwiększonej reakcji na ogień w klasie reakcji na ogień **B-s1,d 0** wg PN-EN 13501-1+A1:2010. Są materiałem niezapalnym, niekapiącym, niedymiącym oraz w klasie reakcji na ogień **A2-s1,d 0** są materiałem niepalnym (**R-ZB nr 1, R-ZB nr 2, R-ZB nr 3, R-ZB nr 25**).
 - 4) Do projektowania paneli elewacyjnych i wewnętrznych oraz do projektowania ustrojów akustycznych rekomenduje się program komputerowy o roboczej nazwie: ***SkribiFront***. Do obsługi budowanej w ramach projektu drukarki 3d o roboczej nazwie ***SkribiArt*** rekomenduje się program o roboczej nazwie ***SkribiTool*** (**R-ZB nr 27**).
 - 5) Do druku 3d rekomenduje się sześć głowic realizujących zdefiniowane efekty plastyczne na panelach oraz elementy przestrzenne: Głowica A do druku masami barwnymi, głowica B do druku wąskiej ścieżki masy na płaszczyźnie oraz do druku ustrojów akustycznych, głowica C do wykonywania reliefów za pomocą szpachelki, głowica D do wykonywania wypukłych reliefów, głowica E do wykonywania wypukłych rastrów drukarskich, głowica F do wykonywania tła z masy elewacyjnej.
 - 6) Rekomenduje się do produkcji i sprzedaży pochłaniające ustroje akustyczne sztywne (bez udziału wełny mineralnej) w formie swobodnych kompozycji rzeźbiarskich o współczynniku pochłaniania dźwięku w klasie pochłaniania dźwięku A ($\alpha=0,90$) (**D-ZB nr 3, D-ZB nr 7**). Rekomenduje się do produkcji i sprzedaży dedykowane do miejsca i budowli(indywidualnie projektowane plastycznie) elewacyjne i wewnętrzne panele akustyczne pochłaniające dźwięk z udziałem i bez udziału wełny mineralnej o współczynniku $\alpha_w=0,85$, $\alpha_w=0,80$, $\alpha_w=0,30$. Rekomenduje się ustroje rozpraszające dźwięk komponowane ze swobodnych form rzeźbiarskich o współczynniku rozpraszania **s od 0,8 do 1 dla częstotliwości powyżej 800 Hz**.
 - 7) Dla zwiększenia ilości sterowanych osi w drukarce 3d rekomenduje się dekodery o roboczej nazwie ***SkribiDek***.

- 8) Do mieszania, odpowietrzania, konfekcjonowania mas ceramicznych, polimerowych i geopolimerowych rekomenduje się mieszalnik o roboczej nazwie ***SkribiMix***.
- 9) Do wykorzystania przez usługobiorców rekomenduje się 12 projektów ustrojów akustycznych w formie stl.

V. Metodologia. (szczegółowy opis poszczególnych sekcji w zespole)

Badania miały charakter interdyscyplinarny ponieważ dotyczyły zaprojektowania nowatorskiego urządzenia wraz z oprogramowaniem, drukującego ognioodporne ustroje o przewidywalnych parametrach akustycznych oraz technikę i technologie druku paneli elewacyjnych i ściennych mających zastosowanie w budownictwie. Wykorzystując efekt synergii współpracowali ze sobą informatycy, konstruktorzy maszyn, specjaliści w zakresie chemii budowlanej, akustycy i artyści. Pracę podzielono na kilkanaście Zadań Badawczych, a wyniki wspólnych prac umieszczono na zredagowanych do tego celu formularzach rejestrującymi założenia badawcze, tezy, analizy, wyniki badań oraz rekomendacje. Postęp prac był widoczny w trakcie badań dla całego zespołu na uruchomionym wewnętrznym serwerze firmy 3dArtech. Zadania Badawcze stanowią ZAŁĄCZNIKI do RAPORTU Z REALIZACJI I ETAPU PROJEKTU.

Badania prowadzono w laboratorium chemicznym i konstrukcyjnym firmy 3dArtech, w Katedrze Mechaniki i Wibroakustyki AGH w Krakowie oraz Sychta Laboratorium Sp.J w Policach.