



UNIwersytet
Warszawski

Sławomir Rzepecki

Paweł Kmiecik

Wytyczne do tworzenia map i modeli 3D oraz zastosowania druku 3D do wspierania osób niewidomych

Standardy do tworzenia tyfloplanów i modeli w technologii druku 3D
dla studentów Uniwersytetu Warszawskiego



Fundusze Europejskie
Wiedza Edukacja Rozwój



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





Niniejsze opracowanie powstało w ramach projektu „Uniwersytet dla wszystkich – Level up” współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego z Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój, umowa nr POWR.03.05.00-00-A067/19-00 zawartą pomiędzy Uniwersytetem Warszawskim a Narodowym Centrum Badań i Rozwoju. Projekt realizowany przez Biuro ds. Osób z Niepełnosprawnościami w latach 2020-2023 m.in. miał na celu utworzenie Laboratorium Map i Modeli Dotykowych w BON UW, oraz zbadanie możliwości zastosowania technologii druku 3D we wspieraniu edukacji i samodzielności osób niewidomych.



Więcej informacji o projekcie można znaleźć na stronie:

<https://cewis.uw.edu.pl/universytet-dla-wszystkich-level-up/>

Więcej informacji o Laboratorium Map i Modeli Dotykowych BON UW:

<https://cewis.uw.edu.pl/dzial/innowacje/lab3d/>



Laboratorium Map i Modeli Dotykowych
Biuro ds. Osób z Niepełnosprawnościami
Centrum Wsparcia Dydaktyki
Uniwersytet Warszawski

Sławomir Rzepecki, Paweł Kmiecik

Wytyczne do tworzenia map i modeli 3D oraz zastosowania druku 3D do wspierania osób niewidomych

Standardy do tworzenia tyfloplanów i modeli w technologii
druku 3D dla studentów Uniwersytetu Warszawskiego

Warszawa, 2023



UNIwersYTET
WARszAWSKI



CENTRUM
WSPARCIA
DYDAKTYKI

BIURO ds. OSÓB Z NIEPEŁNOSPRAWNOŚCIAMI



Fundusze
Europejskie
Wiedza Edukacja Rozwój



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny



Badanie zrealizowano w ramach projektu „Uniwersytet dla wszystkich – Level up”
współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu
Społecznego z Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój



laboratorium
map i modeli
dotykowych

Laboratorium map i modeli dotykowych (lab3D) jest częścią działu adaptacji BON UW. Zespół laboratorium tworzą osoby od lat zajmujące się tyflografiką, tworzeniem adaptacji dla osób niewidomych, a także pasjonaci i specjaliści w swoich obszarach działań. Laboratorium map i modeli dotykowych utworzone zostało w ramach projektu „Uniwersytet dla wszystkich - Level up” realizowanego przez BON UW.

Osoby tworzące laboratorium:

Sławomir Rzepecki – koordynator zadania, specjalista w zakresie tyflografiki, grafik 2D (CorelDraw) i 3D (Inventor)

Paweł Kmieciak – grafik 3D (Blender, Inventor), specjalista w zakresie optymalizacji G-codu i druku 3D

Wiktoria Peryt – specjalistka w zakresie realizacji wydruków 3D, opiekunka pomieszczeń pracowni 3D

Zbigniew Drzazga – specjalista w zakresie zapisów i notacji brajlowskich, oraz oceny jakościowej grafiki dotykowej

Spis treści

Wstęp	8
-------------	---

Część I. Informacje wstępne nt. technologii druku 3D 11

Słowniczek podstawowych pojęć stosowanych w poradniku.....	12
A	12
B.....	13
D	13
E.....	13
F.....	14
G	14
K.....	15
M	15
N	15
P.....	16
R.....	16
S.....	17
W.....	18
Modelowanie pod kątem druku 3D.....	19
1. Szerokość projektowanych linii/obiektów	19
2. Wysokość projektowanych obiektów.....	20
3. Nawis (Overhang)	21
4. Most (Bridge)	22
5. Tolerancje wymiarowe elementów spasowanych.....	23

Cięcie modelu (slicing)	25
1. Pozycjonowanie modelu na stole roboczym	25
2. Podstawowe parametry druku	26
3. Druk wielokolorowy z wykorzystaniem pojedynczej głowicy (zmiana koloru filamentu w trakcie druku).....	47
Porady praktyczne	49
1. Przechowywanie i przygotowanie filamentu do druku	49
2. Podstawowe podzespoły drukarki 3D (FDM)	50
3. Przygotowanie Drukarki 3D do pracy	58
4. Nadzór procesu druku w trakcie jego trwania.....	61
5. Zdejmowanie wydruku ze stołu roboczego	67
6. Drukowanie brajla w orientacji poziomej.....	71
7. Drukowanie brajla w orientacji pionowej.....	73
8. Proces wykańczania wydruku	77
9. Identyfikacja niedoskonałości wydruku i ich przyczyny.....	81
10. Bezpieczeństwo	92

Część II. Standardy do tworzenia tyfloplanów i modeli w technologii druku 3D dla studentów Uniwersytetu Warszawskiego..... 95

Wprowadzenie	96
Propozycje oznaczeń dotykowych	99
Zakres opracowania	99
Definicje	101
Kompozycja tyflomapy.....	104
Zasady tworzenia treści informacyjnych.....	105
Wymiary i prezentacja tyflomap	108

Proponowane przykłady oznaczeń	115
Część 1. Oznaczenia do stosowania na tyfloplanach prezentujących układ pomieszczeń	115
Część 2. Oznaczenia do stosowania na tyfloplanach prezentujących układ budynków.....	122
Część 3. Oznaczenia powierzchni do stosowania na makietach i mapach 3D.	125
Część 4. Oznaczenia obiektów do stosowania na makietach i mapach 3D w skali 1:150.	127
Część 5. Oznaczenia obiektów do stosowania na makietach i mapach 3D w skali 1:200.	130
Część 6. Pozostałe oznaczenia do stosowania na planach i mapach.	133
Praktyczna realizacja – wskazówki i rozwiązania	135
Uzyskanie efektu druku wielokolorowego.....	136
Zastosowanie koloru w projektach 3D.....	137
Rozdzielenie obszarów z informacjami w systemie Braille’a oraz w zapisie zwykłym.....	138
Połączenie zapisu zwykłego i zapisu w systemie Braille’a.....	142
Zapis w systemie Braille’a.....	146
Wydruk brajla w orientacji poziomej.....	149
Wydruk brajla w orientacji pionowej.....	151
Tworzenie napisów na wydrukach	153
Wydruki planów o powierzchni przekraczającej obszar wydruku	157
Załącznik nr 1 – przykłady realizacji: plany tyflograficzne.....	159
Załącznik nr 2 – przykłady realizacji: mapy 3D, tyflomakiety	167
Bibliografia.....	171

Wstęp

Technologia druku 3D staje się coraz tańsza i coraz bardziej powszechna. Drukarki są coraz bardziej niezawodne, a oprogramowanie wspierające projektowanie oraz realizowanie wydruków jest wciąż rozwijane, aby ten proces umożliwić jak najłatwiejszym i intuicyjnym. Jednocześnie technologia ta wciąż raczej kojarzona jest z entuzjastami, którzy hobbystycznie tworzą i dzielą się projektami 3D w specjalistycznych serwisach. Aby przełamać to stereotypowe wrażenie Dział adaptacji Biura ds. Osób z Niepełnosprawnościami UW, w ramach projektu „Uniwersytet dla wszystkich - Level up” podjął się zbadania możliwości zastosowania technologii druku 3D w konkretnym zastosowaniu służącym wspieraniu edukacji, samodzielności i niezależności osób niewidomych.

Punktem wyjścia dla tego działania było wieloletnie doświadczenie działu adaptacji BON UW w zakresie tworzenia adaptacji materiałów dydaktycznych, oraz tyflografiki dla osób z niepełnosprawnościami wzroku, a także wiedza i umiejętności specjalistów oraz brajlistów pracujących w BON. Zespół ten został poszerzony o specjalistę w zakresie technologii 3D i projektowania modeli trójwymiarowych.

Utworzenie pracowni druku 3D poprzedzone zostało szeregiem wizyt studyjnych w różnych ośrodkach zajmujących się drukiem 3D. Uruchomienie pracowni wspierali także specjaliści z Centrum Druku 3D w Makerspace@UW prowadzonym przez Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w Centrum Nowych Technologii ‘Ochota’.

Wraz z poszerzaniem potencjału sprzętowego realizowaliśmy działania związane ze zbadaniem i poszerzeniem wiedzy w zakresie potrzeb i oczekiwań osób z niepełnosprawnościami wzroku, w szczególności osób niewidomych. Służyła temu wizyta SOSW w Owińskach i innych ośrodkach, udział w konferencjach i wystawach dedykowanych osobom niewidomym lub specjalistom ich wspierającym, czy

spotkania z ekspertami zajmującymi się technologią druku 3D¹. Najważniejszym obszarem tych działań były jednak bezpośrednie badania możliwości zastosowania technologii druku 3D w tworzeniu planów i map dotykowych służących nauce orientacji przestrzennej i wykorzystania modeli przestrzennych w edukacji osób niewidomych. Przebieg i efekty tych badań zostały przedstawione w oddzielnym opracowaniu „Raport z badania możliwości zastosowania technologii druku 3D w tworzeniu planów i map dotykowych służących nauce orientacji przestrzennej i wykorzystania modeli przestrzennych w edukacji osób niewidomych.”.

Badaniom towarzyszyły kolejne projekty realizowane w tworzonej pracowni druku 3D. Najpierw o charakterze testowym, z czasem coraz częściej konkretnych modeli lub tyfloplanów. Wydruki te podlegały ocenie i weryfikacji, a po ich zaakceptowaniu były publikowane poprzez udostępnienie plików przygotowanych do druku 3D w serwisie CEWIS² wraz z kompletem informacji pomocnych do ich samodzielnego wydruku.

Mimo, iż technologia druku 3D jest już dojrzała i ma charakter powszechny, samo wykonanie wydruków wymaga pewnej wiedzy i umiejętności.

Druk 3D, w najbardziej rozpowszechnionej postaci jaką jest technologia przyrostowego tworzenia wydruku z materiału termoplastycznego (technologia FDM) jest w dużej mierze zależny od parametrów zastosowanego materiału (filamentu), oraz technicznych właściwości drukarki. Gotowy model musi zostać wcześniej przygotowany do druku, poprzez ustawienie parametrów właściwych dla posiadanego filamentu (temperatura), drukarki (adhezja, retrakcja, prędkość druku itp.) oraz modelu (wysokość warstwy, grubość ściany, gęstość wypełnienia i inne).

¹ Szczególnie cennym było spotkanie eksperckie ze specjalistami Fundacji Prowadnica – fundacji założonej i prowadzonej przez osoby niewidome, której celem jest praktyczne stosowanie nowoczesnych technologii, w tym druku 3D, do wspierania osób niewidomych. Strona fundacji: <https://prowadnica.org/>

² Opublikowane modele 3D udostępniane są bezpłatnie pod adresem: <https://cewis.uw.edu.pl/dzial/innowacje/projekty-3d/>

W oparciu o te parametry model musi zostać pocięty na warstwy i wraz z ustawieniami zapisany zostaje w postaci tzw. G-codu - kodu sterującego dla drukarki 3D. Służy do tego program typu slicer dostarczany wraz z drukarką, lub najczęściej rozpowszechniany bezpłatnie.

Jak najlepsze wykonanie wydruków wymaga przygotowania drukarki, filamentów, nadzorowanie wydruku i jego wykończenia. Przydatna jest także wiedza z zakresu rozwiązywania typowych problemów występujących podczas druku.

W niniejszym poradniku zebrane zostały informacje i porady pomagające w samodzielnym wykonywaniu wydruków, oraz rozwijające wiedzę w tym zakresie. Zawarliśmy wskazówki ułatwiające także samodzielne tworzenie projektów, w szczególności takich, których odbiorcami mają być osoby niewidome i słabowidzące.

W drugiej części poradnika zebrane zostały rozwiązania i detale dotyczące faktur, oznaczeń i rozwiązań, które zostały wypracowane w efekcie badań i przeprowadzonej weryfikacji. Rozwiązania te są bezpośrednio związane z zastosowaną technologią (technologia przyrostowa FDM), oraz przeznaczone są do tworzenia tyfloplanów i innych pomocy dla osób niewidomych. Mamy nadzieję, że wypracowane rozwiązania będą przyczyniać się do upowszechniania technologii druku 3D w szczególności do wspierania edukacji, samodzielności i niezależności osób niewidomych.

Sławomir Rzepecki

Kierownik Działu Adaptacji BON UW

Część I. Informacje wstępne nt. technologii druku 3D

Paweł Kmieciak

Wszystkie podane wskazówki i rozwiązania przygotowane zostały w oparciu o założenie, że tworzone modele drukowane będą w technologii FDM, na drukarce 3D z pojedynczą głowicą typu direct, wyposażonej w dyszę o średnicy 0,4 mm, a stosowane filamenty będą miały wiązkę o średnicy 1,75 mm. Parametry te odpowiadają najbardziej powszechnie używanej konfiguracji sprzętowych dostępnych na rynku.

Słowniczek podstawowych pojęć stosowanych w poradniku

A

ABS – jeden z podstawowych i najpopularniejszych filamentów. Pełna nazwa chemiczna to akrylonitrylo-butadieno-styren. Posiada wyższą wytrzymałość fizyczną i odporność termiczną niż PLA. Może z powodzeniem podlegać szlifowaniu lub podobnej obróbce fizycznej. Dla uzyskania niezwykle gładkiej powierzchni wydruku możliwe jest stosowanie oparów czystego acetonu. Zdecydowanie trudniejszy w druku niż PLA. Wymaga zamkniętej komory drukarki, a jeżeli wychładza się zbyt szybko ma tendencję do kurczenia się, co skutkuje podwijaniem się powierzchni płaskich lub niepożądanym odrywaniem się modelu od stołu roboczego.

Adhezja – fizyczne połączenie ze sobą dwóch ciał/substancji. W procesie druku 3D mianem tym określa się przyleganie nakładanej linii filamentu do poprzedniej warstwy materiału lub powierzchni stołu roboczego. Konfiguracja parametrów druku w oprogramowaniu tnącym ma na celu uzyskanie jak najwyższej i najefektywniejszej adhezji.

ASA – filament zbliżony właściwościami do ABS-u, ale niwelujący część jego niedoskonałości. Pełna nazwa chemiczna to akrylonitryl-styren-akryl. Może z powodzeniem podlegać szlifowaniu lub podobnej obróbce fizycznej. Posiada wysoką odporność na warunki środowiskowe (wilgotność, promieniowanie UV, wysoka temperatura), dzięki czemu nadaje się do druku przedmiotów mających przebywać na zewnątrz oraz prostych podzespołów mechanicznych. Zalecana jest zamknięta komora drukarki, ponieważ skurcz mniejszy niż w przypadku ABS-u, wciąż może utrudniać uzyskanie pożądanych efektów.

B

BVOH – filament używany do drukowania struktur podporowych. Posiada wysokie właściwości adhezyjne do innych rodzajów popularnych materiałów (np. PLA i ABS), ale jego główną zaletą jest rozpuszczalność w wodzie. Wydrukowanych z BVOH struktur podporowych nie trzeba usuwać fizycznie poprzez wycinanie czy wyłamywanie, wystarczy zanurzyć model w ciepłej wodzie, a podpory ulegną samoistnemu rozpuszczeniu.

D

Dysza drukarki 3D – element drukarki 3D, który stanowi zwieńczenie jej głowicy. Roztapiany filament w półciekłej konsystencji właśnie poprzez dyszę wydostaje się na powierzchnię stołu roboczego lub wcześniejszą warstwę wydruku. Temperatura dyszy, to jeden z podstawowych parametrów ustawianych w oprogramowaniu tnącym (slicerze). Uwaga – dysza w trakcie wydruku może osiągać temperatury zbliżone do 300 °C i jej dotknięcie może spowodować poparzenie.

E

Ekstruder w drukarce 3D to mechanizm odpowiedzialny za podawanie materiału do wydruku, najczęściej plastiku w postaci filamentu - zobacz Głowica drukarki 3D.

Ekstruzja / współczynnik ekstruzji – parametr podlegający ustawieniom w oprogramowaniu tnącym, który odzwierciedla ogólny przepływ filamentu przez dyszę drukarki. Standardowo przyjmuje wartość 1. Zwiększając lub zmniejszając jego poziom, możliwe jest szybkie zwiększenie lub zmniejszenie ilości wytłaczanego (ekstrudowanego) materiału. Nie zaleca się zmian większych niż 0.05. Wymuszenie nadmiernej ekstruzji filamentu może prowadzić do błędów retrakcji lub zapychania głowicy.

F

FDM – skrót odnoszący się do określenia najpopularniejszej technologii druku 3D (Fused Deposition Modeling). Urządzenia pracujące w technologii FDM rozgrzewają materiały termoplastyczne (filamenty) i wykorzystując ich chwilową lepkość, nakładają na siebie ich kolejne warstwy, budując całość modelu.

Filament – materiał termoplastyczny występujący w formie wiązki o średnicy 1,75 lub 2,85 mm, będący budulcem modelu w procesie druku 3D w technologii FDM (np. PLA, ABS).

Flex – potoczna nazwa odnosząca się do grupy filamentów posiadających właściwości elastyczne, zbliżone do gum o różnej charakterystyce. Materiały te wykonane są najczęściej z tworzywa TPU (Thermoplastic polyurethane), a ich twardość określana jest w skali Shore'a. Mogą sprawiać pewne trudności w druku, zwłaszcza początkującym, z racji możliwości powodowania np. zapychania dyszy drukarki.

G

G-code – język formułowania poleceń dla drukarki 3D będący efektem procesu “słajdowania” modelu trójwymiarowego. Określa sposób zapisu wszystkich operacji, które wykonać ma urządzenie i przybiera postać pliku o rozszerzeniu `.gcode`. Plik ten może być z powodzeniem edytowany “ręcznie” z poziomu aplikacji Notatnik, wymaga to jednak znajomości kodów poszczególnych komend i umiejętności właściwego ich umiejscawiania. Dla przykładu, komenda `M104` odpowiedzialna jest za zmianę temperatury dyszy wylotowej.

Głowica drukarki 3D – newralgiczny element drukarki 3D, decyduje w głównej mierze o jakości wydruków. Składa się m.in. z bloku grzejnego, radiatora, termistora i dyszy wylotowej. Odpowiada za pobór, rozgrzanie i wytłoczenie filamentu. Występuje w wariantach konstrukcyjnych typu bezpośredniego (direct) i bowden.

Głowica typu direct – rodzaj głowicy w drukarce 3D (FDM), w której silnik krokowy odpowiedzialny za pobór i wycofywanie (retrakcję) filamentu zainstalowany jest bezpośrednio na głowicy drukującej.

Głowica typu bowden – rodzaj głowicy w drukarce 3D (FDM), w której silnik krokowy odpowiedzialny za pobór i wycofywanie (retrakcję) filamentu zainstalowany jest poza głowicą drukującą, a filament do niej wprowadzany jest przez długą rurkę PTFE.

K

Komora drukarki 3D – zamykana obudowa pozwalająca uzyskać stałe i stabilne warunki temperatury, wilgotności oraz ruchu powietrza w trakcie druku. Newralgiczna i niezbędna w przypadku pracy z materiałami wrażliwymi na zmiany temperatury, czy zbyt szybkie wychładzanie, np. ABS, ASA.

M

Most (ang. *bridge*) odnosi się do obszaru modelu, w którym materiał musi być nanoszony w sposób zawieszony pomiędzy dwoma punktami podparcia, tworząc rodzaj „mostu” nad otwartą przestrzenią. Bez odpowiedniej techniki drukowania, mosty mogą się odkształcać, przeciągać lub nawet „zawalić” pod własnym ciężarem. Aby uzyskać udane mosty w druku 3D, istotne jest dobranie odpowiednich parametrów drukowania, takich jak prędkość druku, temperatura dyszy, grubość warstwy lub ew. stosując dodatkowe struktury podporowe.

N

Nawis (ang. *overhang*) odnosi się do obszarów modelu, które nie mają podparcia od dolnej warstwy i wychodzą poza nią. Nawisy mogą być problematyczne podczas drukowania, ponieważ materiał drukujący może mieć tendencję do „opadania” lub „wylewania się”, prowadząc do deformacji w wydruku. Aby uzyskać poprawne wydruki nawet w obszarach nawisów, zazwyczaj stosuje się dodatkowe struktury

zwane „supportami” (ang. *supports*). W niektórych przypadkach, gdy nawisy są stosunkowo małe i kąt nachylenia jest umiarkowany, niektóre drukarki 3D mogą radzić sobie z ich wydrukiem bez konieczności stosowania suportów.

P

PLA – najpopularniejszy filament stosowany w druku 3D technologią FDM, o czym decyduje łatwość pracy z nim. Nazwę zawdzięcza skróceniu słowa poliaktyd. Jest materiałem biodegradowalnym. Charakteryzuje się niewielkim skurczem, nie wymaga stosowania zamkniętej komory. Zaletą łatwości druku równoważona jest wadami, do których należą skrajnie niska odporność na uszkodzenia fizyczne, promieniowanie UV czy wysokie temperatury. Uniemożliwia to zaawansowaną obróbkę wydruków (np. szlifowanie).

Podpory / struktury podporowe – struktury mające za zadanie podpieranie elementów modelu, które dzięki nim nie zapadają się pod wpływem grawitacji. Druk 3D w technologii FDM zakłada nakładanie kolejnych warstw materiału, budując model od dołu (z poziomu stołu roboczego drukarki) w górę, a zatem wszelkie zabudowywane otwory mogłyby ulegać zapadnięciu. Podpory przeciwdziałają temu zjawisku. Mogą być generowane w pełni automatycznie w oprogramowaniu tnącym lub można generować je ręcznie również z poziomu tejże aplikacji. Po zakończeniu wydruku, podpory należy usunąć z miejsc widocznych wyłamując je lub rozpuszczając w wodzie, jeżeli zastosowany został specjalny filament podporowy.

R

Raft – płaska podstawa drukowanego obiektu, która tworzona jest automatycznie w oprogramowaniu tnącym po włączeniu funkcji generowania raftu. Z funkcjonalności tej należy korzystać w przypadku, gdy zawodzą inne metody uzyskania zadowalającej adhezji pierwszej warstwy wydruku do powierzchni stołu roboczego drukarki. Raft ma zastosowanie wobec modeli o niezwykle małej powierzchni stycznej ze stołem roboczym lub obiektów drukowanych z filamentów charakteryzujących się wysokim skurczem, a w konsekwencji podwijaniem pierwszej warstwy.

Retrakcja – parametr modyfikowalny z poziomu oprogramowania tnącego, który odpowiada za podciąganie odpowiedniej długości wiązki filamentu po każdej z nakładanych w trakcie druku linii. Sprawia to, iż półpłynny rozgrzany w dyszy filament nie wycieka samoistnie z dyszy pod wpływem grawitacji, kiedy ta podróżuje pomiędzy kolejnymi obszarami wydruku. Kontrolą podlega zwłaszcza długość cofanej wiązki (wyrażana w mm) oraz szybkość wykonywania retrakcji (wyrażana w mm/s). Błędne ustawienie parametrów retrakcji skutkuje np. osadzaniem się na ściankach wydruku charakterystycznych niteczek lub zacieków, będących nadmiarem filamentu wypływającego z dyszy w momentach kiedy nie powinien on się z niej wydostawać.

S

Skirt – drukowane wokół modelu obrisy, mające na celu wytłoczenie z głowicy i dyszy resztek filamentu pozostałych po poprzednim wydruku. Skirt drukowany jest zawsze przed właściwym modelem dzięki czemu pozwala szybko zdiagnozować ewentualne problemy z zawilgotnieniem filamentu, jego adhezją czy zanieczyszczeniem.

Slicer / oprogramowanie tnące / “Slajsowanie” – aplikacja przetwarzająca model 3D na zestaw instrukcji czytelny dla drukarki. W obrębie slicera dokonywany jest podział obiektu trójwymiarowego na warstwy, które w procesie druku stają się kolejnymi warstwami nakładanego filamentu. W slicerze konfiguracji podlegają wszystkie parametry pracy drukarki 3D. Dlatego też umiejętnie “slajsowanie” modelu jest elementem nieodłącznym procesu druku 3D. Efektem całego procesu jest G-code zapisywany w postaci rozpoznawalnego przez drukarkę 3D pliku w formacie `.gcode`.

Stół roboczy – element drukarki 3D na powierzchni którego tworzony jest wydruk, a konkretnie jego pierwsza warstwa. Jeżeli adhezja pierwszej warstwy wydruku do powierzchni stołu roboczego jest niewystarczająca, może dojść do podwijania krawędzi modelu (w przypadku filamentów kurczliwych) lub nawet oderwania modelu w trakcie druku, co skutkuje natychmiastowym niepowodzeniem całego procesu. Aby przeciwdziałać powyższym trudnościom, powszechnie stosuje się zestaw czynności i rozwiązań takich jak: zwiększanie temperatury stołu

roboczego w trakcie druku, pokrywanie powierzchni stołu stosownymi klejami czy taśmami klejącymi, a także stosowanie nakładanych na stół roboczy płyt o powierzchniach dedykowanych poszczególnym grupom filamentów (np. płyty gładkie dla PLA, płyty fakturowane dla filamentów elastycznych).

Supporty (ang. *supports*) to dodatkowe elementy drukowane razem z głównym modelem, które mają na celu podtrzymywanie nadwieszających się części, zapewniając im stabilność podczas procesu drukowania. Supporty można potem łatwo usunąć po zakończeniu druku, pozostawiając czysty i wykończony model.

Szerokość ścieżki (ang. *line width*) – odnosi się do szerokości pojedynczej warstwy materiału nanoszonej przez dyszę głowicy drukującej w trakcie drukowania obiektu 3D. Jest to jedna z kluczowych parametrów konfiguracyjnych w druku 3D, który ma wpływ na jakość, wytrzymałość i wygląd końcowego wydruku.

W

Warstwa – To jedna z wielu cienkich warstw, z których składa się obiekt drukowany. Grubość warstwy może mieć wpływ na jakość i czas druku, dlatego dobór tego parametru ma szczególne znaczenie dla uzyskania wysokiej jakości niewielkich detali jak np. punkty znaku brajlowskiego. Zob. też. Slicer.

Modelowanie pod kątem druku 3D

Modelowanie 3D to proces tworzenia trójwymiarowych obiektów, które spełniają określone i scharakteryzowane poniżej kryteria, mogą być drukowane w technologii druku 3D. Rynek zapewnia szeroki wybór oprogramowania umożliwiającego pracę nad trójwymiarowymi modelami w zależności od charakteru potrzeb użytkowników. Wśród aplikacji całkowicie darmowych i posiadających bardzo szerokie możliwości najpopularniejszą jest Blender. Graficy i projektanci preferujący modelowanie parametryczne, oparte o techniczne szkice, zwracają swoją uwagę w kierunku aplikacji takich jak Inventor (stosunkowo przystępna, darmowa dla placówek edukacyjnych) i AutoCAD (wysoko profesjonalna i dość skomplikowana dla użytkowników o małym doświadczeniu). Łatwiejszą w obsłudze, wciąż zapewniającą duże możliwości i darmową dla placówek edukacyjnych alternatywą wobec wymienionych jest program Fusion 360. Niezależnie od zastosowanego oprogramowania, efektem końcowym modelowania 3D pod kątem druku 3D, powinien być trójwymiarowy obiekt zapisany w formacie STL lub OBJ.

Wszystkie podane wskazówki i rozwiązania przygotowane zostały w oparciu o założenie, że tworzone modele drukowane będą w technologii FDM, na drukarce 3D z pojedynczą głowicą typu direct, wyposażonej w dyszę o średnicy 0,4 mm, a stosowane filamenty będą miały wiązkę o średnicy 1,75 mm. Parametry te odpowiadają najbardziej powszechnie używanej konfiguracji sprzętowych dostępnych na rynku.

1. Szerokość projektowanych linii/obiektów

Wspomniana we wstępie konfiguracja sprzętowa sprawia, że tnąc model w slicerze i dobierając szerokość pojedynczej drukowanej ścieżki będziemy poruszali się w obszarze wartości 0.4 mm – 0.45 mm. Standardowo będzie to wartość **0.45 mm** i jest ona jak najbardziej właściwa i bezpieczna dla średnicy dyszy równej 0.4 mm.

Dlatego też projektując model, w którym występować będą cienkie, składające się z jedynie kilku obrysów linie o grubości około 1 mm, zaleca się ustalanie ich grubości w oparciu o **wielokrotność szerokości ścieżki**.

Przykład: Jeżeli istnieje taka możliwość, należy stworzyć linię o szerokości 0.9 mm (będzie składała się z dwóch obrysów) zamiast 1 mm. Unikniemy wtedy np. powstawania widocznej na wydruku szpary pomiędzy luźno ułożonymi obrysami lub sytuacji, w której slicer doda ścieżkę wypełniającą pomiędzy dwoma ścieżkami granicznymi.

Dobra praktyka: obiektom cienkim, pozbawionym wypełnienia, składającym się jedynie z obrysów zewnętrznych, ustalaj grubość będącą wielokrotnością szerokości ścieżki.

2. Wysokość projektowanych obiektów

Planując wysokość elementów, zwłaszcza płaskich podstaw obiektów, zaleca się ustawianie ich grubości w korelacji do wysokości warstwy jaką zamierzamy stosować dla ich druku.

Przykład: Dla drukowania podstaw obiektów, czy dużych płaskich obiektów, w pełni wystarczająca jest wysokość warstwy na poziomie 0.2 mm. Dla tak zdefiniowanej wysokości, zaleca się tworzenie obiektów o grubości będącej jej wielokrotnością, np. 1 mm. Stosując tę zasadę unikniemy uśrednień wysokości na etapie “ślajśowania” obiektu oraz ewentualnych niedokładności wymiarowych, które mogłyby powstać na tym etapie.

3. Nawis (Overhang)

Proces druku 3D przy użyciu technologii FDM umożliwia tworzenie w projektowanych modelach nawisów (overhangs), które zostaną z powodzeniem zbudowane bez użycia struktur podporowych. Dzieje się tak, ponieważ kolejne warstwy wydruku nie muszą być ułożone dokładnie na sobie i może występować pewne przesunięcie poziome. Wymaga to jednak spełnienia dwóch warunków.

Pierwszy z aspektów dotyczy kąta pod którym fragment modelu może odchyłać się względem jego pionowej powierzchni. Maksymalnie może on wynosić 45° i wartość tę uznaje się za nieprzekraczalną. Należy przy tym pamiętać, że im mniejszy kąt odchylenia względem pionu, tym estetyczniejsza będzie struktura drukowanej pod kątem powierzchni.

Drugim elementem zwiększającym szanse powodzenia wydruku nawisów bez użycia struktur podporowych jest manipulacja wysokością warstwy. Co do zasady, im mniejszą wysokość warstwy zastosujemy, tym łagodniej wyglądać będzie schodkowa, pocięta przez slicer, struktura ścianki drukowanej pod kątem. Tym bardziej, że każda następna warstwa jest wysunięta względem poprzedniej. Niższa warstwa sprawia, że wspomniane przesunięcie może być mniejsze, a co za tym idzie – mniej ryzykowne.

Dobra praktyka: dla fragmentu modelu, w którym występować ma nawis drukowalny bez struktur podporowych, ogranicz jego kąt odchylenia względem powierzchni pionowej do maksymalnie 45° . Ślajszując wspomniany obiekt i stosując ogólną wysokość warstwy np. na poziomie 0,2 mm, zmniejsz wysokość warstwy dla obszaru występowania nawisu do wartości 0,1 mm.

4. Most (Bridge)

Jako że technologia FDM zakłada nakładanie kolejnych warstw filamentu i model budowany jest od dołu (wzrasta z poziomu stołu roboczego drukarki), wszelkie zabudowywane otwory będą ulegać zapadnięciu. Jest to naturalna konsekwencja oddziaływania grawitacji na rozpostarte pomiędzy krawędziami otworu linie filamentu.

Sytuacji tej przeciwdziała się stosując struktury podporowe (supports). Jednakże w przypadku niewielkich otworów, które mają zostać zabudowane z góry, dopuszczalne jest pozostawienie ich bez wspierania podporami. Płaszczyzna z powodzeniem pokrywająca taki otwór bez podpór nosi nazwę mostu (bridge).

Mosty będą drukowane z różnym stopniem powodzenia w zależności od czynników takich jak prędkość druku czy właściwości konkretnego filamentu. Co do zasady, najważniejszym aspektem mającym wpływ na sukces bądź jego brak, jest długość pojedynczej linii jaka będzie musiała zostać “rozciągnięta” ponad otwartą przestrzeń. Dla materiałów twardych (np. PLA) maksymalna, ale ryzykowna długość mostu to nawet około 1 cm. Założenie, że w pełni bezpieczna długość mostu wynosi 5 mm jest w pełni uzasadnione. Wartości te mogą ulegać pewnym odchyleniom w zależności od wspomnianych powyżej czynników, jednakże będą to odstępstwa niewielkie.

Przykład: jeżeli w modelu występuje wymagający zadrukowania od góry otwór o wymiarach 1 x 1 cm, nie będzie konieczne dodawanie struktur podporowych. Jeżeli zostaną zaaplikowane automatycznie przez oprogramowanie tnące, mogą zostać usunięte.

Przykład: jeżeli w modelu występują wymagające zadrukowania otwory długie ale wąskie, np. o wymiarach 100 x 5 mm, to one również z powodzeniem zostaną pokryte mostem i nie będą wymagały struktur podporowych. Długość linii rozpościeranej pomiędzy krawędziami otworu nie powinna przekroczyć wartości krytycznej, powyżej której zacznie ona znacząco opadać i się odkształcać.

Uwaga: drukowanie mostów przebiega inaczej w przypadku materiałów elastycznych (flex). Z racji ich konsystencji oraz potrzeby drukowania z mniejszymi prędkościami, długość właściwie zbudowanych mostów może być krótsza niż podany powyżej 1 cm. Każdorazowo przed drukowaniem filamentem elastycznym modelu zawierającego struktury mostowe, konieczne będzie przeprowadzenie testów wykazujących jego zachowanie w tym obszarze.

Dobra praktyka: tworząc model z występującymi mostami, nie przekraczaj szerokości otworu, która wymusi slicerowi tworzenie podwieszonych linii filamentu dłuższych niż 1 cm. Jednocześnie nie ograniczaj drastycznie prędkości druku mostów. Szybko rozpościerane nad pustą powierzchnią ścieżki mają zdecydowanie większą szansę zachować właściwy i napięty kształt.

5. Tolerancje wymiarowe elementów spasowanych

Tworząc przekraczający wielkością pole robocze drukarki model 3D, koniecznością staje się dzielenie go na mniejsze fragmenty. Powinny być one wyposażone w elementy umożliwiające wygodne i precyzyjne spasowanie poszczególnych modułów w jedną bryłę. W zależności od specyfiki i funkcji jaką wydruk będzie pełnił, zaleca się stosowanie różnego rodzaju otworów, kieszeni, pasujących do nich wypustek, wsuwek czy tym podobnych metod połączenia segmentów, gwarantujących trwałość i stabilność.

Należy jednak pamiętać o stosowaniu właściwej tolerancji wymiarowej.

W przypadku materiałów twardych (np. PLA, ABS), wypustka o wymiarach 10 x 10 x 10 mm nie wsunie się w otwór o tym samym wymiarze. Powodów takiej sytuacji jest kilka, m.in. szerokość stosowanej w druku linii, precyzja drukarki 3D, właściwości danego filamentu, itp. Rozwiązaniem pozwalającym uniknąć mechanicznej ingerencji w wydruk jest odpowiednie powiększenie otworu w który wpasować ma się wypustka, lub odwrotnie, zmniejszenie wymiarów wypustki

względem otworu. Zaleca się każdorazowe przetestowanie właściwej wartości tolerancji wymiarowej przed wydrukiem, który będzie takowej wymagał.

Dobra praktyka: testowanie tolerancji wymiarowej rozpocznij od 0,1 mm na każdej z osi. Jeżeli w powiększoną o ten wymiar kieszeń/otwór wciąż nie wpasuje się wypustka, kontynuuj zwiększanie rozmiaru kieszeni/otworu o kolejne 0,1 mm, do momentu uzyskania zadowalającego efektu. Oczywiście możesz postępować odwrotnie – sukcesywnie zmniejszać wypustkę zamiast powiększać otwór.

Przykład: wypustka o wymiarach 10 x 10 x 10 mm najprawdopodobniej wpasuje się dość ściśle w otwór o wymiarach 10,1 x 10,1 x 10,1 mm. Jeżeli zależy nam na spasowaniu luźniejszym, zasadne będzie przygotowanie otworu o wymiarach nie mniejszych niż 10,2 x 10,2 x 10,2 mm.

Uwaga – dla materiałów elastycznych (flex) stosowanie tolerancji wymiarowej nie jest konieczne, zwłaszcza jeżeli zależy nam na ścisłym dopasowaniu elementów.

Cięcie modelu (slicing)

Cięcie, slicing, czy też plasterkowanie modelu, to proces polegający na przetwarzaniu modelu 3D na zestaw instrukcji czytelny dla drukarki. W obrębie slicera dokonywany jest podział obiektu trójwymiarowego na warstwy, które w procesie druku stają się kolejnymi warstwami nakładanego filamentu. W slicerze konfiguracji podlegają wszystkie parametry pracy drukarki 3D. Umiejętne “słajzowanie” modelu jest elementem nieodłącznym druku 3D, a efektem całego procesu cięcia jest G-code zapisywany w postaci rozpoznawalnego przez drukarkę 3D pliku w formacie `.gcode`. Przygotowany plik `.gcode` jest kompatybilny wyłącznie z konkretnym modelem drukarki oraz filamentem, dla którego ustawione zostały parametry druku.

1. Pozycjonowanie modelu na stole roboczym

Dodawany do slicera obiekt, który ma zostać wydrukowany, automatycznie umieszczany jest w centralnym punkcie stołu roboczego. Rozwiązanie to ma na celu nie tylko wygodę obsługi oprogramowania, ale jest konsekwencją prawidłowości, iż drukarki 3D (FDM) najwyższą precyzję pracy osiągają właśnie w tych obszarach pola roboczego. Podobną prawidłowość zastosować można w stosunku do procesu grzania stołu roboczego, zwłaszcza w przypadku konstrukcji wyposażonych w stoły o bardzo dużej powierzchni. Stopień nagrzania może być nierównomierny, ale co do zasady stabilność utrzymania zadanej temperatury będzie większa w jego centrum.

Dobra praktyka: unikaj umieszczania obiektów w skrajnych obszarach pola roboczego drukarki 3D. Umieszczaj je na środku stołu roboczego.

W przypadku drukowania wielu modeli na raz i umieszczania ich na stole roboczym, należy wypozycjonować je jak najbliżej centrum stołu oraz jak najbliżej względem siebie. Niewielka odległość pomiędzy modelami skraca czas całego procesu druku, ponieważ zmniejszamy w ten sposób dystans powtarzanych wielokrotnie ruchów jałowych głowicy wykonywanych pomiędzy modelami.

Dobra praktyka: wiele modeli drukowanych na raz umieszczaj w centrum pola roboczego drukarki i możliwie blisko siebie.

2. Podstawowe parametry druku

Zaprezentowane poniżej zestawienie newralgicznych kategorii ustawień dokonywanych w oprogramowaniu tnącym uporządkowane zostało wedle kolejności występującej w programie PrusaSlicer, a więc darmowym i będącym jednym z najpopularniejszych na rynku. Jednakże wszystkie przedstawione informacje mają charakter uniwersalny i mogą być pomocne również w innych aplikacjach przygotowujących instrukcje dla drukarki 3D.

2.1. Wysokość warstwy

Jest to newralgiczna sekcja ustawień, a błędnie dobrane parametry w tym obszarze mogą skutkować nie tylko niezadowolającą jakością wydruku, ale również jego całkowitym niepowodzeniem.

Parametr wysokości warstwy decyduje o tym, jak wysoka będzie pojedyncza drukowana ścieżka, a co za tym idzie, jaką wysokość będzie posiadała każda nakładana kolejno na siebie warstwa modelu.

Minimalna i maksymalna wysokość warstwy, jaka może zostać bezpiecznie ustawiona w oprogramowaniu slajującym, zdeterminowana jest przez parametry techniczne drukarki, takie jak jej zdolność do unoszenia osi głowicy na osi Z oraz średnica założonej dyszy wylotowej. Każdy producent urządzenia definiuje minimalną wysokość warstwy z jakiej skorzystać może użytkownik.

Zakres wysokości warstw, jakie możliwe są do zastosowania w danej konfiguracji sprzętowej pomagają również ocenić matematyczne wzory, uwzględniające średnicę dyszy wylotowej jako jedną ze zmiennych.

Maksymalna wysokość warstwy = średnica założonej dyszy * 0,75

Minimalna wysokość warstwy = średnica założonej dyszy * 0,25

Przykład: Dla drukarki wyposażonej w dyszę o średnicy 0,4 mm, opierając się na powyższych wzorach, możliwe jest ustawianie maksymalnej bezpiecznej wysokości warstwy na poziomie 0,3 mm i minimalnej na poziomie 0,1 mm.

Uwaga: Znaczne przekroczenie maksymalnej wysokości warstwy może skutkować ponadnormatywnym wzrostem ciśnienia wewnątrz dyszy, zapchaniem jej oraz głowicy drukarki, prowadząc do konieczności rozkładania i serwisowania jej elementów.

Uwaga: Stosowanie zbyt niskiej niż wyliczona ze wzoru minimalna warstwa, nie jest obarczone tak negatywnymi konsekwencjami jak w przypadku warstwy maksymalnej. Najgorszym z możliwych efektów będzie niezadowolający lub nieudany wydruk, nie istnieje groźba doprowadzenia np. do zapchania podzespołów urządzenia. Co więcej, warto eksperymentować ze schodzeniem poniżej poziomu wyliczonej minimalnej dopuszczalnej warstwy w przypadku modeli wymagających skrajnie dużej precyzji (np. brajl). Dzięki zaawansowanym algorytmom stosowanym w oprogramowaniu tnącym, zarządzanie ilością podawanego filamentu umożliwia znaczne schodzenie poniżej warstwy 0,1 mm przy wykorzystywaniu dyszy o średnicy 0,4 mm.

Dobra praktyka: Dla uproszczenia, dobierając odpowiednią warstwę druku można przyjąć, że wysokość:

- **0,3 mm i więcej** – warstwa właściwa dla wydruków mających powstawać maksymalnie szybko kosztem jakości i estetyki powierzchni. Ułożenie poszczególnych warstw będzie widoczne na modelu “gołym okiem”.
- **0,2 mm** – warstwa optymalna pod kątem stosunku jakość / szybkość druku. Idealna do stosowania w wypadku wydruków dużych i pozbawionych małych detali, ale mających zachować przyzwoity poziom estetyki powierzchni.
- **0,1 mm i mniej** – warstwa skutkująca relatywnie długimi czasami druku, ale umożliwiająca osiągnięcie zadowalających efektów przy drukowaniu elementów małych i bogatych w szczegółowy detal. Na płaskich powierzchniach bocznych ułożenie poszczególnych warstw będzie niemalże niewidoczne i niewyczuwalne.

2.2. Dynamiczna zmiana warstwy

Optymalizacja procesu drukowania polega na takim ustawieniu parametrów druku, aby model drukowany był maksymalnie szybko, a przy tym nie tracił walorów estetycznych i wytrzymałości. Kluczowym elementem optymalizacji może być stosowanie różnej wysokości warstw dla różnych partii danego modelu. Każde popularne oprogramowanie tnące umożliwia stosowanie dynamicznej zmiany warstwy. W przypadku aplikacji PrusaSlicer funkcja ta nazwana jest mianem “Modyfikatora zakresu wysokości” i wywoływana jest z poziomu menu rozwijanego kliknięciem prawym klawiszem myszy na nazwę dodanego modelu 3D.

Za pomocą tego typu narzędzi i funkcji model składający się np. z nieszczegółowej i prostej geometrycznie podstawy oraz skomplikowanego i bogatego w detale nadruku, może zostać “pocięty” tak, aby podstawa i nadruk były drukowane z wykorzystaniem innej wysokości warstwy.

Dobra praktyka: optymalne “slajsowanie” modelu płytki o grubości 1 mm i znajdującego się na niej napisu brajlowskiego zakłada, że płytka drukowana będzie na wysokości warstwy 0,2 mm (lub więcej), a znaki brajlowskie z wykorzystaniem wysokości warstwy 0,1 mm (lub mniej).

2.3. Obrysy i obrysy zewnętrzne

Konfiguracja ilości obrysów ma wpływ na estetyczną jakość wydruku, jego fizyczną wytrzymałość oraz mocno rzutuje na łączny czas druku modelu. Ilość obrysów, to nic innego jak liczba ścieżek, która złoży się na grubość pionowej ścianki wydruku.

Za punkt wyjścia ustawiania ilości obrysów dobrze jest przyjąć liczbę 3.

Dla większości wydruków, taka ilość ścieżek, których szerokość będzie oscylować w granicach od 0,4 mm do 0,45 mm, zapewnia wystarczającą wytrzymałość ścianek.

Dobra praktyka: dla większości wydruków ustalaj ilość obrysów równą trzem. Jeżeli wymagana jest wysoka wytrzymałość wydruku na zgniatanie i ściskanie, znacznie zwiększ tę liczbę.

Obrysem zewnętrznym określany jest obrys, który stanowi zewnętrzną krawędź modelu. W drukowanej bryle istnieje zawsze tylko jeden obrys zewnętrzny, niezależnie od ogólnej liczby obrysów. To obrys zewnętrzny jest widoczny i wyczuwalny za pomocą wzroku i dotyku.

Dobra praktyka: zmniejszaj prędkość druku obrysów zewnętrznych o około 20% względem pozostałych obrysów. Zwiększysz szanse uzyskania idealnej powierzchni bocznej wydruku.

2.4. Powłoki poziome (górne i dolne)

Ustawienie ilości warstw jakimi pokryta zostanie bryła na górnej i dolnej powierzchni decyduje o jej jakości i wytrzymałości, podobnie jak liczba obrysów.

Kluczowe dla zdefiniowania ilości powłok górnych i dolnych jest skorelowanie ich z używaną do ich drukowania wysokością warstwy.

Przykład: Warstwy niskie (np. 0,1 mm) pokrywają powierzchnie płaskie mniej efektywnie niż warstwy wysokie. Aby uniknąć np. prześwitywania lub dziurek na powierzchni, model drukowany za ich pomocą będzie wymagał stosowania większej ilości powłok górnych i dolnych.

Dobra praktyka: Jeżeli drukujesz model z wysokością warstwy:

- **0,3 mm i więcej** – model nie będzie wymagał więcej niż dwóch lub trzech powłok górnych i dolnych.
- **0,2 mm** – model wymaga przynajmniej trzech powłok górnych i dolnych.
- **0,1 mm i mniej** – model wymaga pięciu lub więcej powłok górnych i dolnych, aby jego powierzchnie płaskie zostały właściwie i estetycznie przykryte.

2.5. Prędkość druku

Prędkość ruchów drukujących decyduje o ich precyzji, a co za tym idzie ma wpływ na estetyczną jakość druku. W skrajnych wypadkach także na jego całkowite powodzenie bądź jego brak. Bezrefleksyjne i przesadne zwiększenie prędkości obniża dokładność ruchów głowicy, może zmniejszać adhezję pomiędzy ścieżkami filamentu lub nawet nadmiernie obciążać silniki drukarki prowadząc do ich przegrzewania. Konfiguracja szybkości prowadzenia procesu druku jest więc poszukiwaniem właściwego balansu pomiędzy jak najmniejszym czasem druku, a jego jak najwyższą jakością.

Najważniejszym czynnikiem, który stanowi punkt wyjścia dla ustawień prędkości druku, jest rodzaj stosowanego filamentu. Materiały twarde takie jak PLA czy ABS mogą być drukowane relatywnie znacznie szybciej niż elastyczne. Wspomniane PLA jest jednak bezkonkurencyjnym liderem możliwości pod kątem prędkości druku, osiągalne są tu nawet graniczne prędkości zbliżone do 100 mm/s.

Dobra praktyka: Producenci charakteryzując swoje produkty, najczęściej podają maksymalne prędkości bezpiecznej pracy filamentu. Poznawanie możliwości nowego materiału rozpocznij od ustawiania prędkości w jego średnich zakresach. Np. dla PLA w przypadku którego maksymalne prędkości druku wynoszą około 100 mm/s, ustawiaj szybkości oscylujące wokół 50 mm/s. Jeżeli efekty są zadowalające, możesz je stopniowo (o 5-10 mm/s) zwiększać oceniając efekty i wypatrując momentu, w którym jakość wydruku zaczyna spadać.

Każda aplikacja tnąca umożliwia różnicowanie prędkości druku dla różnych jego aspektów. Szybkość druku niewielkich modeli powinna być znacznie mniejsza, niż elementów dużych i geometrycznie nieskomplikowanych, składających się finalnie z długich i prostych ścieżek. Co więcej, zasadne jest różnicowanie prędkości druku dla poszczególnych obrysów w obrębie pojedynczego modelu.

Dobra praktyka: Mocno różnicuj prędkości drukowania poszczególnych obrysów i elementów składowych modelu. Obrysy wewnętrzne czy wypełnienie, stanowią jego wewnętrzną i niewidoczną po wydrukowaniu część, a więc prędkości ich drukowania mogą być wielokrotnie wyższe niż newralgicznych dla estetyki modelu obrysów zewnętrznych czy zwartego wypełnienia górnego.

Przykład: Dla materiału takiego jak PLA dopuszczalne i zupełnie właściwe będzie skrajne różnicowanie prędkości druku. Definiowanie szybkości tworzenia np. obrysów wewnętrznych na poziomie 80 mm/s, a małych obrysów na poziomie 15 mm/s, sprawi iż wydruk powstanie relatywnie szybko, bez uszczerbku dla jego jakości estetycznej.

2.6. Szerokość ścieżki (ekstruzji)

Szerokość ekstruzji jest parametrem określającym jak szeroka będzie pojedyncza, nakładana przez głowicę drukującą ścieżka. Wartość ta jest ściśle powiązana ze średnicą stosowanej w drukarce dyszy wylotowej.

Dobra praktyka: Dla większości standardowych wydruków stosuj szerokość ekstruzji wynoszącą około 110% średnicy zainstalowanej w drukarce dyszy wylotowej. Np. dla najpopularniejszej dyszy o średnicy 0,4 mm, wartość szerokości ścieżki definiuj na poziomie 0,45 mm. Zapewni to właściwy stosunek pomiędzy dobrą adhezją kolejnych warstw, a dobrą jakością druku i brakiem ryzyka zapychania dyszy.

Różnicowanie wartości szerokości ekstruzji jest zasadne jeżeli potrzebny jest konkretny efekt z zakresu szczegółowości detalu, czy trwałości modelu.

Dobra praktyka: Manipulowanie szerokością ekstruzji w zależności od efektu jaki chcesz osiągnąć:

- **Poprawienie przyczepności filamentu do stołu roboczego lub poprzedniej warstwy** – zwiększ szerokość ekstruzji wyliczając jej wartość na 120-140% średnicy dyszy.
- **Poprawienie jakości drukowanych detali i obiektów skrajnie małych** (np. punkt brajlowski) – ustaw szerokość ekstruzji dokładnie na poziomie średnicy dyszy wylotowej z której korzystasz.
- **Oslabienie adhezji ścieżek do stołu roboczego lub poprzedniej warstwy** – jeżeli chcesz wydrukować strukturę podporową, która będzie następna łatwa do fizycznego usunięcia (wyłamania), zmniejsz szerokość ekstruzji do poziomu niższego niż średnica stosowanej dyszy, np. 0,35 mm dla dyszy o średnicy 0,4 mm.

Uwaga: Zastosowanie zbyt dużej szerokości ekstruzji w połączeniu z wysokimi prędkościami druku, może prowadzić do przekroczenia bezpiecznego poziomu ciśnienia filamentu w głowicy drukarki, a co za tym idzie do jej zapchania i konieczności fizycznego wyczyszczenia. Analogicznie, za małą szerokość ekstruzji może doprowadzić do sytuacji, w której kolejne ścieżki filamentu nie będą przyklejać się do poprzednich lub do stołu roboczego.

2.7. Temperatura dyszy

Zadana drukarce temperatura dyszy ma wpływ na to, jaką konsystencję będzie przyjmował topiony w niej filament.

Zakres temperatur, w których pracuje konkretny materiał, każdorazowo opisany jest przez producenta w informacjach odnoszących się do jego właściwości i parametrów.

Dobra praktyka: Poznawanie termicznej charakterystyki materiału rozpocznij od ustawienia temperatury druku w jego średnim podawanym przez producenta zakresie. Np. dla PLA, w przypadku którego zakres zalecanych temperatur określono na 200-230 °C, przeprowadź testowy wydruk z umiarkowanymi prędkościami druku i temperaturą dyszy ustawioną na 215 °C. W większości przypadków będzie to parametr gwarantujący powodzenie wydruku i stanowiący dobry punkt wyjścia do ewentualnych zmian w obu kierunkach.

Przykład: Ustawienie temperatury dyszy w górnych partiach podawanego przez producenta zakresu, spowoduje zmianę konsystencji podawanego filamentu na bardziej płynną, lejącą. Analogicznie, schodzenie do wartości oscylujących wokół dolnych dopuszczalnych, zwiększa gęstość materiału i utrudnia jego szybką ekstruzję.

Uwaga: Filament pracujący w relatywnie wysokich dla siebie temperaturach, będzie przejawiał zwiększoną tendencję do spowodowanego grawitacją wyciekania z dyszy. Ustawienia retrakcji (patrz pkt. 2.11.) będą niewralgiczne dla zachowania wysokiej estetyki wydruku. Problem dużego „niteczkowania” materiału w trakcie wydruku może być ograniczony poprzez zmniejszenie temperatury głowicy równie skutecznie jak dzięki właściwym parametrom retrakcji.

Dobra praktyka: manipulowanie temperaturą dyszy w zależności od efektu jaki chcesz osiągnąć:

- **Ograniczenie problemu niekontrolowanego wyciekania („niteczkowania”) filamentu z dyszy w trakcie druku** – zmniejsz temperaturę dyszy o 5 °C i oceń czy „niteczkowanie” uległo zmniejszeniu bez uszczerbku dla jakości wydruku. Jeżeli tak się stało, możesz spróbować zmniejszać temperaturę dyszy o kolejne 5 °C do momentu całkowitego wyeliminowania problemu. Wartością graniczną będzie jednak moment, w którym model z racji zbyt niskiej dla danego materiału temperatury dyszy, nie będzie drukował się poprawnie.
- **Zapewnienie właściwego podawania filamentu przy wysokich prędkościach druku** – jeżeli drukujesz relatywnie szybko, zbliżając się do górnych zakresów prędkości dopuszczalnych dla danego materiału, niezbędne jest zwiększenie stopnia stopienia materiału, aby poprawić jego bezproblemowe nakładanie. Podnosząc prędkości druku o 20-25%, zwiększaj sukcesywnie temperaturę dyszy o 5 °C, obserwując przy tym, czy nie występują negatywne efekty tej czynności, np. nadmierne „niteczkowanie”.
- **Zapewnienie właściwej jakości detalu w modelach małych i skomplikowanych geometrycznie** – obiekty składające się z bardzo krótkich i drukowanych powoli ścieżek wymagają obniżenia temperatury dyszy, aby podawany filament posiadał należytą konsystencję i nie „wylewał” się zbyt szybko, powodując utratę szczegółowości. Dlatego też drukując z prędkościami poniżej 15 mm/s zmniejsz temperaturę dyszy o 5, lub nawet 10 °C.

W przypadku wielu modeli zasadne jest różnicowanie temperatury dyszy w zależności od konkretnej ich części. Przygotowując parametry druku dla obiektów składających się np. z prostej geometrycznie podstawy i skomplikowanego, bogatego w detal nadruku który będzie drukowany powoli, niezbędne może być obniżenie temperatury dyszy dla detalu.

Dobra praktyka: Podobnie jak w przypadku prędkości druku, różnicuj temperaturę dyszy z jaką drukowane są małe detale (obniżaj dla nich temperaturę dyszy o 5-10°C), względem elementów prostych i drukowanych szybko (podnoś dla nich temperaturę o 5-10°C). Możliwe jest to z poziomu ustawień oprogramowania tnącego, lub poprzez manualne dodawanie w nim komendy M104 dla konkretnej warstwy wydruku.

2.8. Temperatura stołu roboczego

Konfiguracja temperatury stołu roboczego drukarki jest procesem zdecydowanie mniej złożonym niż ustawienia temperatur dyszy. Grzanie powierzchni na której powstawać będzie wydruk ma na celu poprawienie adhezji pierwszej warstwy wydruku i ograniczenie szansy na oderwanie się wydruku w trakcie pracy drukarki. Jeżeli dany materiał wymaga podgrzewanego stołu roboczego, to zadana temperatura powinna być stabilnie utrzymywana przez cały czas trwania wydruku, a nie tylko w momencie budowania jego pierwszej warstwy.

Producent filamentu definiuje i umieszcza w informacjach zakres temperatur, który sprawdza się najlepiej.

Dobra praktyka: Rozpocznij od ustawienia temperatury stołu w jego średnim podawanym przez producenta zakresie. Np. dla PLA, w przypadku którego zakres zalecanych temperatur określono na 50-70°C, przeprowadź testowy wydruk z umiarkowanymi prędkościami druku i temperaturą stołu ustawioną na 60°C. W większości przypadków będzie to parametr gwarantujący powodzenie wydruku i stanowiący dobry punkt wyjścia do ewentualnych zmian w obu kierunkach.

Dobra praktyka: Zwiększaj temperaturę stołu roboczego o 5 °C względem pozostałej części wydruku. Podniesie to szanse na właściwe przyklejenie pierwszej warstwy modelu do jego powierzchni.

Uwaga: W przypadku materiałów, które wymagają grzanej powierzchni stołu, jego zbyt niska temperatura, może spowodować niewłaściwe przyleganie do niego nakładanych dyszą linii. Odbije się to na niskiej estetyce dolnej powierzchni modelu, oraz może doprowadzić do odpadnięcia całego wydruku w trakcie jego powstawania.

Uwaga: Zbyt wysoka temperatura stołu roboczego może powodować odkształcanie się wydruku i deformacje jego dolnych partii.

2.9. Chłodzenie wydruku i środowisko termiczne drukarki

Filamenty będące budulcem modeli w procesie druku 3D w technologii FDM są materiałami termoplastycznymi, a więc przejawiają wysoką wrażliwość na zmiany temperatury. Fakt ten jest ich zaletą, ponieważ dzięki odpowiedniej manipulacji temperaturą dyszy i stołu roboczego, możliwe jest tworzenie skomplikowanych brył przestrzennych. Niestety wspomniana wysoka wrażliwość termiczna generuje również problemy i jest to ściśle skorelowane z rodzajem stosowanego filamentu i konstrukcją drukarki 3D.

W procesie druku 3D jednym z najczęściej niweczących powodzenie zjawisk jest tzw. skurcz, a więc tendencja części filamentów, do niekontrolowanego zmniejszania swojej objętości w różnych partiach wydrukowanego modelu. Efekt ten powodowany jest zbyt szybkim wychładzaniem się filamentu w trakcie druku. Dotyczy to przede wszystkim powierzchni płaskich, które jeszcze w trakcie druku bardzo chętnie podwijają się na rogach i odkształcają ku górze. W skrajnych przypadkach silny efekt skurczu materiału może prowadzić do odpadnięcia modelu od stołu roboczego.

Materiały takie jak ABS czy Nylon charakteryzuje duży skurcz. Dlatego też nie jest możliwe drukowanie za ich pomocą bez drukarki wyposażonej w zamykaną komorę/obudowę. Konstrukcja taka sprawia, że powietrze bezpośrednio okalające powstający wydruk nie ulega gwałtownemu wychłodzeniu, a to skutecznie przeciwdziała wspomnianemu skurczowi.

Dobra praktyka: przygotowując się do drukowania z wykorzystaniem materiałów kurczliwych (np. ABS), zadbaj o wyposażenie drukarki w zamykaną komorę, wyłącz jej ewentualne wentylatory oraz inne formy chłodzenia wydruku.

Materiał PLA i jego pochodne charakteryzują się niskim skurczem, a w związku z tym nie wymagają stosowania zamkniętej obudowy. Wręcz przeciwnie, PLA to filament w przypadku którego szybkie wychładzanie powstającego wydruku jest korzystne dla jego jakości.

Dobra praktyka: przygotowując się do drukowania z wykorzystaniem materiałów nie przejawiających tendencji do skurczu (np. PLA), nie musisz korzystać z zamykanej komory drukarki, a jeżeli takową posiadasz, włącz jej ewentualne wentylatory oraz inne formy chłodzenia wydruku.

2.10. Pierwsza warstwa i jej kluczowe znaczenie dla wydruku

Powstający w technologii FDM wydruk budowany jest na stole roboczym drukarki i przyrasta ku górze wraz z każdą kolejną nakładaną warstwą. Dlatego też pierwsza warstwa wydruku ma niewątpliwie znaczenie dla powodzenia całego procesu. To za jej pośrednictwem model stabilnie utrzymuje się w pożądanej pozycji, nie ulega przesunięciom lub przechyleniom, które negatywnie odbijają się na jakości wydruku. W skrajnych wypadkach, słaba adhezja pierwszej warstwy wydruku do powierzchni stołu drukarki doprowadza do odpadnięcia modelu, a w konsekwencji do konieczności powtórzenia wydruku, bo jego kontynuacja nie jest możliwa. Istnieje jednak szereg działań mających na celu zwiększenie szansy na maksymalnie

mocne przytwierdzenie pierwszej warstwy wydruku do dolnej płaszczyzny obszaru roboczego.

Termoplasty, jakimi są filamenty, w zdecydowanej większości wypadków zwiększają swoją kleistość wraz ze wzrostem temperatury pracy. W związku z tym, wskazane jest podnoszenie temperatury dyszy wylotowej drukarki dla pierwszej warstwy wydruku. Poprawi to adhezję pomiędzy płytą stołu roboczego a ścieżką wytłaczanego materiału.

Przykład: poprawnie skonfigurowane parametry druku dla modelu tworzonego z PLA i stosowanej dla niego temperatury dyszy 220°C, zakładają ustawienie temperatury dyszy 225°C dla pierwszej warstwy wydruku.

Dobra praktyka: dla pierwszej warstwy zwiększaj temperaturę dyszy wylotowej o 5°C względem jej bazowej temperatury dla pozostałej części wydruku. Jeżeli masz do czynienia z materiałem bardzo trudnym do przytwierdzenia do powierzchni stołu roboczego, zwiększ temperaturę nawet o 10°C.

Efekt poprawionej adhezji pierwszej warstwy można osiągnąć również poprzez zwolnienie prędkości jej druku i jest to rozwiązanie powszechnie stosowane. Większość aplikacji przeznaczonych do generowania plików g-code w sposób automatyczny sugeruje zwolnienie prędkości nakładania ścieżek filamentu na stół roboczy.

Dobra praktyk: Zwalniaj prędkości drukowania wszystkich elementów (obrysy, wypełnienia, itp.), jakie stanowią pierwszą warstwę wydruku. Niech szybkości te nie przekraczają 25-30 mm/s dla materiałów takich jak PLA i 15-20 mm/s dla filamentów wymagających niskich ogólnych prędkości, np. elastycznych.

Jakość przyklejania się poszczególnych linii materiału do stołu roboczego jest zdeterminowana również przez ich kształt. Manipulować nim można za pomocą parametrów wysokości warstwy i szerokości ekstruzji. Pojedyncza wytłaczana ścieżka o wysokości 0,2 mm i szerokości 0,45 mm, ma szansę przytwierdzić się do powierzchni zdecydowanie lepiej, niż ta o wysokości 0,1 mm i szerokości 0,35 mm. Dlatego też nawet dla wydruków niezwykle szczegółowych, których wysokość warstwy nie będzie przekraczać 0,1 mm, ich pierwsza warstwa powinna być wyższa i osiągać wspomniane 0,2 mm. Zdecydowanie poprawia to adhezję. Podobnie szerokość ekstruzji, nie powinna być drastycznie zmniejszana dla pierwszej warstwy, co więcej, bardzo często dobry efekt przynosi jej zwiększenie. Większa powierzchnia pojedynczej ścieżki, to większa szansa trwałego i stabilnego przylegania.

Dobra praktyka: Stosuj wysokość pierwszej warstwy na poziomie 0,2 mm nawet dla wydruków, w których pozostałe warstwy będą zdecydowanie niższe.

Istnieje cały katalog filamentów, które okażą się odporne nawet wobec przytoczonych powyżej sposobów na poprawienie adhezji pierwszej warstwy. Mowa przede wszystkim o materiałach charakteryzujących się wysoką kurczliwością, takich jak ABS czy Nylon. W tym wypadku należy uciec się do kolejnych sposobów radzenia sobie z tego typu trudnością, a są nimi np. pokrywanie stołu roboczego substancjami poprawiającymi jego właściwości i stosowanie raftu.

Dobra praktyka: W przypadku niesatysfakcjonującej adhezji pierwszej warstwy możliwe jest zastosowanie środków, które pomogą mechanicznie ją zwiększyć. Są to przede wszystkim:

- **Klej** – jeżeli powierzchnia stołu roboczego drukarki pokryta jest szkłem, lub materiałem który to umożliwia, możesz posmarować ją cienką warstwą kleju w sztyfcie (popularny klej biurowy/szkolny).
- **Taśma klejąca** – powierzchnię stołu roboczego na której budowany będzie model, pokryj jedną warstwą papierowej taśmy maskującej/malarskiej.

- **Sok z ABS-u** – jeżeli bez powodzenia próbujesz wykonać satysfakcjonujący wydruk z ABS-u, możesz pokryć powierzchnię stołu roboczego tzw. sokiem. Jest to roztwór ABS-u (wykorzystaj np. resztki nieudanych wydruków) i acetonu w proporcjach 1g filamentu na 10ml acetonu. Owa mieszanka pozostawiona w zamknięciu na około 8 godzin, zmieni się w substancję drastycznie poprawiającą adhezję ABS-u do powierzchni stołu roboczego.

Uwaga: Nie łącz ze sobą powyższych metod, każdą z trzech stosuj oddzielnie.

Oprogramowanie tnące umożliwia stosowanie tzw. raftu. Jest to drukowana na stole roboczym płaska podstawka, na której wydrukowany zostanie właściwy model. Z poziomu aplikacji kontroli podlega przede wszystkim ilość warstw z jakich będzie się składać. Drukowany na stosunkowo wysokiej warstwie (np. 0,2 mm) raft, z racji swojej dużej powierzchni stycznej ze stołem roboczym, umożliwia bardzo stabilne i trwałe przytwierdzenie modelu. Po zakończonym wydruku należy ową podstawkę od niego oderwać.

Dobra praktyka: dla modelu o niewielkiej stycznej ze stołem roboczym lub/i opornie przyklejającego się do stołu roboczego z racji zastosowanego filamentu, przetestuj dodanie składającego się z kilku wysokich (np. 0,2 mm) warstw (np. 3) raftu. Zwłaszcza w przypadku kiedy zawiodą metody związane ze zwiększaniem temperatury dyszy i stołu dla pierwszej warstwy, zmniejszanie prędkości jej druku itd.

2.11. Współczynnik ekstruzji

Współczynnik ekstruzji materiału jest parametrem, którego regulacja możliwa jest z poziomu ustawień oprogramowania tnącego. Za jego pomocą możliwe jest szybkie zwiększenie lub zmniejszenie ilości wytłaczanego w trakcie druku filamentu. Standardowo przyjmuje on wartość 1.

Producenci materiałów opisują przedział w jakim zalecane jest ustawienie współczynnika ekstruzji dla konkretnego filamentu. W większości standardowych i nieskomplikowanych wydruków, egzamin zda pozostawienie wartości na poziomie 1 lub zdefiniowanym przez producenta. Ewentualne zmiany powinny być nieznaczne i dokonywane etapowo, przy równoczesnej ocenie efektów, a pojedyncza modyfikacja nie powinna przekraczać wartości 0,02. Nie należy jednak przekraczać wartości ekstruzji poniżej 0,9 i powyżej 1,1. Można uznać je za wartości graniczne.

Uwaga: Zbyt wysoki parametr współczynnika ekstruzji może prowadzić do zapychania się dyszy wylotowej drukarki w trakcie wydruku.

Przykład: Za wysoka ekstruzja skutkuje zbyt dużą ilością wytłaczanego względem potrzeb filamentu. Ścieżki wydruku są zniekształcone, bywają niesymetryczne, a obrysy zewnętrzne mogą sprawiać wrażenie zanadto rozlanych.

Przykład: Za niska ekstruzja skutkuje zbyt małą ilością wytłaczanego względem potrzeb filamentu. Pomiędzy ścieżkami wydruku widoczne są przerwy i szpary. W skrajnych przypadkach może dojść do rozwarstwiania się poziomych ścieżek, gdyż zbyt duży będzie dystans pomiędzy nimi.

Dobra praktyka: Zmniejszanie współczynnika ekstruzji ma sens również w przypadku wydruku modeli bardzo małych i szczegółowych, które drukowane będą bardzo powoli i z użyciem wąskiej szerokości linii (np. drukowane poziomo punkty brajlowskie). Duży wypływ filamentu nie jest wtedy niezbędny, więc jeżeli używasz współczynnika ekstruzji na poziomie 1, zmniejsz go do wartości np. 0,98.

2.12. Retrakcja filamentu

Jeżeli model posiada fragmenty drukowane oddzielnie i głowica będzie zmuszona do “przeskakiwania” pomiędzy nimi, to nagromadzony w dyszy rozgrzany filament może z niej wyciekać pod wpływem grawitacji w trakcie tych podróży. W naturalny sposób prowadzi to do zanieczyszczenia wydruku charakterystycznymi niteczkami lub zaciekami, określanymi również mianem błędów retrakcji.

Retrakcja jest wycofaniem odpowiedniej długości wiązki filamentu po każdej z nakładanych w trakcie druku linii. Kontrolą podlega zwłaszcza długość cofanej wiązki (wyrażana w mm) oraz szybkość wykonywania retrakcji (wyrażana w mm/s).

Podstawowymi kryteriami różnicującymi zakres parametrów retrakcji są rodzaj materiału oraz konstrukcja drukarki 3D. Poszczególne kategorie filamentów, wedle swoich unikatowych właściwości, posiadają także odmienne potrzeby związane z jej parametrami. Co do zasady, PLA i jego pochodne będą materiałami wymagającymi jednej z agresywniejszych retrakcji, tymczasem np. TPU przeciwnie, nie potrzebuje tak znacznego wycofywania z głowicy. Jak zostało wspomniane, na konfigurację retrakcji ma też wpływ typ konstrukcji drukarki, a konkretnie rozróżnienie na głowice typu bezpośredniego (direct) i głowice typu bowden. Te drugie wymuszają potrzebę retrakcji na poziomie niemal dwukrotnie większym niż pierwsze.

Przykład: dla wielu popularnych rodzajów PLA i drukarki wyposażonej w głowicę typu bezpośredniego, właściwa długość retrakcji będzie się wahać w granicach 2-3 mm. Natomiast ten sam filament w konstrukcji opartej o głowicę typu bowden będzie wymagał ustawienia jej na poziomie 4-6 mm.

Przykład: Materiały z kategorii gumopodobnych (TPU), są dość miękkie, w konsekwencji czego mogą ulegać zmiążdżeniu, a nawet przerwaniu w miejscu popychania wiązki przez radetko ekstrudera drukarki. Dlatego też nie są odporne na gwałtowne ruchy retrakcyjne i wymagają jej długości w zakresie około 1-2 mm.

Uwaga: Materiały elastyczne (TPU) nie nadają się do drukowania w konstrukcjach typu bowden, mogą być z powodzeniem używane jedynie w drukarkach 3D wyposażonych w głowice bezpośrednie.

Konkretna długość retrakcji powinna zostać ustawiona za pomocą oprogramowania tnącego w oparciu o informacje od producenta oraz metodę powtarzanych do momentu osiągnięcia zadowalających efektów prób.

Dobra praktyka: konfigurację długości retrakcji dla filamentu rozpocznij od sprawdzenia podanego przez jego producenta zakresu. Jeżeli został on określony np. na poziomie 2-3 mm, zacznij od długości retrakcji ustawionej nawet poniżej polecanego zakresu. Może się okazać, że dla konkretnego kształtu modelu, stosowanych prędkości i temperatur dyszy, zupełnie wystarczające będzie zastosowanie długości retrakcji w okolicach 1,5 mm. Dokonaj próbnego wydruku i jeżeli pomiędzy jego oddalonymi wierzchołkami/wysepkami wciąż występują niteczki i zacieki, powtórz go zwiększając długość retrakcji np. 0,2-0,3 mm. Postępuj tak do momentu wyeliminowania widocznych niedoskonałości wydruku.

Uwaga: Jeżeli zwiększanie długości retrakcji nie przynosi pożądanych skutków, przejdź do zwiększania jej prędkości.

Prędkość retrakcji to parametr odpowiedzialny za tempo z jakim podciągnięta z głowicy zostanie zadana (omówiona powyżej) długość filamentu. Podobnie jak to miało miejsce w przypadku długości, zalecany zakres prędkości retrakcji jest podawany przez producenta danego materiału.

Dobra praktyka: Odczytaj podany przez producenta filamentu zakres prędkości retrakcji i ustaw go w średnim pułapie, np. jeżeli producent informuje o przedziale 20-45 mm/s, przetestuj najpierw wartość 30 mm/s. Jeżeli zwiększanie długości retrakcji nie przynosiło efektów i wydruki wciąż były zanieczyszczane, zwiększ prędkość retrakcji o 5 mm/s i wykonaj wydruk testowy. Poprawa estetyki wydruku będzie oznaczała, że musisz ponowić test zwiększając prędkość retrakcji o kolejne 5 mm/s. Powtarzaj proces do momentu uzyskania zadowalającego efektu.

Uwaga: Regulacja długości i prędkości retrakcji nie zawsze całkowicie rozwiąże problem wyciekającego w niekontrolowany sposób filamentu. Jeżeli oba wspomniane parametry są już w swoich górnych granicznych wartościach, a wydruki wciąż pozostają zanieczyszczone, oznacza to, że powodów takiego stanu rzeczy należy upatrywać gdzie indziej, np. w zbyt wysokiej temperaturze dyszy wylotowej drukarki.

2.13. Struktury podporowe

Jak zostało omówione w punkcie 3. i 4. niniejszego opracowania, druk 3D w technologii FDM dzięki korzystaniu ze zjawisk nawisu (overhang) i mostu (bridge), umożliwia tworzenie modeli zawierających rozpostarte w powietrzu niewielkie fragmenty powierzchni i nie będą one ulegały zapadaniu. Aby drukować modele, w których znacznie większe ich części będą drukowane niejako w powietrzu, niezbędne jest korzystanie ze struktur podporowych (supports).

Struktury podporowe mają za zadanie podtrzymywać powierzchnie drukowanego modelu tam, gdzie bez ich pomocy uległyby one zapadnięciu z powodu grawitacji. Mogą być budowane od początku wydruku wprost z powierzchni stołu roboczego lub wzrastać z innych części modelu.

Rozgraniczyć należy dwa podstawowe rodzaje struktur podporowych:

- **Podpory usuwane fizycznie** – po wydrukowaniu modelu i zdjęciu go ze stołu roboczego, należy je oderwać, a ewentualne zniekształcenia powierzchni, do których przylegały oczyścić i wygładzić.
- **Podpory rozpuszczalne** – wydrukowane z filamentów, które ulegają samoistnemu rozpuszczeniu w wodzie, np. BVOH. Gotowy wydruk należy zdjąć ze stołu roboczego, zanurzyć w wodzie i trzymać go pod jej powierzchnią do momentu całkowitego zniknięcia podpór.

Proces tworzenia struktur podporowych przebiega w głównej mierze automatycznie w obrębie zadanych w oprogramowaniu tnącym parametrów. Po włączeniu opcji generowania podpór, aplikacja samoistnie przeanalizuje model i doda je tam, gdzie istnieje taka potrzeba.

Dobra praktyka: Korzystając z opcji automatycznego generowania struktur podporowych, kontroluj ich kształt i właściwości przede wszystkim za pomocą parametrów takich jak:

- **Wzór** – podpory mogą przybierać różny kształt, począwszy od pionowych słupków, a skończywszy na heksagonalnych obrysach zbliżonych kształtem do plastra miodu. Proste słupki będą łatwiej usuwalne, ale za to mniej stabilne. Metodą prób na małych fragmentach, dobierz odpowiedni kształt struktur podporowych.
- **Odstępy pionowe od modelu** – ustawiając odstęp pomiędzy górną i dolną powierzchnią modelu, a strukturami podporowymi, ułatwisz sobie ich oderwanie. Za wartość owego odstępu przyjmij jedną wysokość stosowanej warstwy druku (np. 0,1 mm lub 0,2 mm). Brak odstępu może uniemożliwić oderwanie wsporników i jest zasadny w przypadku stosowania filamentów rozpuszczalnych w wodzie.

- **Rozstaw** (nazywany czasem rozdzielczością lub gęstością) **wzoru** – w zależności od wielkości powierzchni, która ma zostać wsparta oraz geometrycznego skomplikowania modelu, stosuj struktury podporowe o różnej gęstości. Niech wsporniki będą tym ciaśniej rozstawione, im bardziej skomplikowany geometrycznie w miejscu wymagającym podpierania model chcesz wydrukować. Zaczynij od wartości 2,5 mm i zwiększaj ją lub zmniejszaj jeżeli osiągnięty efekt nie jest zadowalający.
- **Kąt wzoru** – parametr ten odpowiada za kąt obrotu podpór względem poziomej płaszczyzny. Jeżeli np. stosujesz struktury podporowe o wzorze prostych linii i pokrywają się one ze ścieżkami stanowiącymi później płaszczyznę opierającą się na wspornikach, to płaszczyzna ta może wydrukować się w sposób niezadowalający. Sytuacją pożądaną będzie ta, w której ścieżki struktur podporowych będą się ze ścieżkami położonej na nich płaszczyzny krzyżowały. Wymuś więc obrót struktur podporowych o gwarantujący taką sytuację kąt (np. 90°).

Uwaga: błędnie skonfigurowane tworzenie struktur podporowych będzie skutkowało ich zbyt dużą trwałością (późniejsze ich wyłamanie może być niezwykle trudne lub niemożliwe bez szkody dla właściwego modelu) albo trwałością zbyt małą, a w konsekwencji niewłaściwym podpieraniem nawisów i mostów, co może prowadzić do ich stopniowych degradacji i uszkodzeń w trakcie druku.

3. Druk wielokolorowy z wykorzystaniem pojedynczej głowicy (zmiana koloru filamentu w trakcie druku)

Drukarki 3D (FDM) wyposażone w kilka głowic drukujących, kilka ekstruderów lub zewnętrzne moduły automatycznie zmieniające filament w trakcie druku, umożliwiają tworzenie wydruków wielokolorowych, w których nawet obiekty znajdujące się na tej samej wysokości, będą posiadały inny kolor powierzchni.

Możliwe jest jednak uzyskanie wydruku wielokolorowego nawet w przypadku drukarek posiadających tylko jedną głowicę drukującą i jeden ekstruder bez stosowania zewnętrznych modułów wymieniających filament w trakcie druku. Aby osiągnąć ten efekt należy wykorzystać funkcję oprogramowania tnącego, jaką jest “zmiana koloru” będąca w praktyce zastosowaniem komendy M600 w pliku g-code.

Uwaga: Komenda/funkcja M600 (zmiana koloru) umożliwia zmianę filamentu pomiędzy warstwami wydruku, a nie w trakcie drukowania konkretnej warstwy. Oznacza to, że wszystkie obrysy znajdujące się na tej samej wysokości, będą drukowane tym samym materiałem/kolorem. Nie jest więc możliwe wydrukowanie w ten sposób kilku ustawionych obok siebie obiektów tak, aby w całości różniły się od siebie kolorem.

Zastosowanie funkcji zmiany koloru (komendy M600) na konkretnej wysokości modelu spowoduje zatrzymanie procesu druku i oczekiwanie drukarki na usunięcie z ekstrudera obecnego filamentu, a następnie załadowanie kolejnego. Po takiej wymianie, drukarka będzie kontynuowała wydruk rozpoczynając kolejną warstwę już za pomocą nowego materiału. Funkcja zmiany koloru może być stosowana wielokrotnie w ramach jednego wydruku.

Przykład: omawiana funkcjonalność jest szczególnie przydatna w przypadku wydruków funkcjonalnych pod kątem osób słabowidzących. Przygotowując w oprogramowaniu tnącym model z płaską górną powierzchnią, zawierającą nadruk będący objaśnieniem treści czy schematem, skorzystaj z funkcji zmiany filamentu na wysokości pierwszej warstwy owego nadruku. Zestawiając ze sobą dwa kontrastowe kolory,

poprawisz w łatwy sposób funkcjonalność finalnego wydruku, a nawet zwiększysz jego walory estetyczne.

Uwaga: Korzystając z funkcji wymiany filamentu i dokonując zmiany nie tylko jego koloru, ale np. zmiany producenta materiału, albo wręcz jego typu, uwzględnij tę różnicę w parametrach druku. Mowa przede wszystkim o parametrach temperaturowych. Zwiększ lub zmniejsz temperaturę dyszy zgodnie z wymaganiami nowo założonego filamentu.

Uwaga: Tworząc wydruk w którym zestawisz ze sobą dwa różne typy filamentów, np. PLA i ABS, upewnij się najpierw za pomocą testów, że adhezja pomiędzy nimi jest wystarczająca i model po wydrukowaniu, albo jeszcze w jego trakcie, nie ulegnie rozpadowi.

Porady praktyczne

1. Przechowywanie i przygotowanie filamentu do druku

Dla powodzenia wydruków bardzo ważne aby utrzymać filamenty w dobrej kondycji. Niektóre z nich są bardzo podatne na wilgoć, dlatego ważne, aby materiały przechowywać możliwie szczelnie zapakowane, np. w workach strunowych, zawsze z woreczkiem pochłaniającym wilgoć. Jeśli, mimo wszystko zdarzy się, że filament zawilgotnieje, co objawiać się będzie m.in. charakterystycznym “strzelaniem” przy wyptywaniu z dyszy (może nawet pojawić się dymek), nie wpadajmy w panikę i nie spisujmy go na straty. ;) W takiej sytuacji materiał możemy wysuszyć. Są na rynku specjalnie do tego celu dedykowane suszarki, jeśli jednak takiej nie posiadamy, z pomocą może nam przyjść np. domowy piekarnik, czy komora drukarki. Należy włożyć szpulę na kilka godzin do komory rozgrzanej do ok. 50-60 stopni (często producenci podają warunki suszenia materiału – warto sprawdzić instrukcję u źródła). Po takim zabiegu możemy znowu bezpiecznie i z powodzeniem używać filamentu.

Staranne przechowywanie materiałów jest ważne również ze względu na potencjalne zanieczyszczenia, które mogłyby osiadać na filamencie i wraz z nim dostawać się do ekstrudera, a w konsekwencji wpływać negatywnie na wygląd i jakość wydruków, a nawet prowadzić do zapchania czy uszkodzeń mechanizmu oraz.

Bardzo istotną rzeczą jest także to, aby zawsze pamiętać o zabezpieczeniu końcówki filamentu gdy tylko wyjmemy ją z ekstrudera. W szpulach umieszczone są służące temu otwory – należy przewlec przez nie końcówkę wiązki, aby uniknąć jej splątania i, idących za tym konsekwencji.

Z kolei bezpośrednio przed załadowaniem filamentu do ekstrudera warto szczypcami przyciąć końcówkę wiązki pod kątem, aby ją zaostrzyć. Dzięki temu radełko łatwiej ją chwyci.

2. Podstawowe podzespoły drukarki 3D (FDM)

Drukarki 3D FDM różnią się między sobą, zwłaszcza pod kątem rozwiązań dotyczących kinematyki elementów ruchomych i zamkniętej bądź otwartej komory druku. Rozkładanie na czynniki pierwsze wszystkich typów konstrukcji jest w przypadku niniejszego opracowania bezcelowe, ale wspomnieć należy o podstawowym rozróżnieniu.

2.1. Konstrukcje kartezjańska i delta

Konstrukcja kartezjańska to najpopularniejsze rozwiązanie stosowane obecnie w drukarkach 3D FDM. Ruchome części urządzenia poruszają się względem osi X, Y i Z. Wózek z ekstruderem wytłaczającym filament porusza się na osi X i Z, a stół roboczy na osi Y. W oparciu o ten zamysł skonstruowane są np. drukarki Prusa. Istnieje również wariant kinematyki kartezjańskiej, w ramach którego wózek porusza się na osiach X i Y, a stół roboczy podnosi się i opuszcza na osi Z. Zaletą takiego rozwiązania jest mniejsza bezwładność stołu roboczego, a co za tym idzie większa precyzja druku przy wysokich prędkościach.

Konstrukcja delta jest rozwiązaniem występującym rzadziej od powyższego, ale mającym swoje zalety i zwolenników. Stół roboczy pozostaje tutaj zawsze statyczny, natomiast ruchomy wózek z ekstruderem zawieszony jest na trzech ramionach poruszanych przez oddzielny dla każdego z nich silnik. Urządzenia te charakteryzują się wyższą względem kartezjańskich prędkością druku, ale np. zdecydowanie bardziej skomplikowanymi procesami kalibracji w razie ewentualnych problemów, ponieważ nawet krótki prostoliniowy ruch ekstrudera, wymaga jednoczesnej i skoordynowanej pracy wszystkich trzech silników.

2.2. Konstrukcje otwarte i zabudowane/zamknięte

Drukarka 3D FDM o konstrukcji otwartej – Urządzenia te nie są zabudowane, nie posiadają zamkniętej komory przestrzeni roboczej. Zaletą takiego rozwiązania jest szybkie i efektywne wychładzanie wydruku (jest to cenne np. przy drukowaniu z PLA) oraz łatwy dostęp do wszystkich podzespołów. Niestety drukarki te słabo

spisują się w przypadku pracy z filamentami wymagającymi bardzo stabilnego termicznie otoczenia. Gwałtownie wychładzający się wydruk tworzony np. z ABS-u czy nylonu prowadzi do jego degradacji poprzez nadmierny skurcz, a co za tym idzie niemalże niemożliwe jest stosowanie tego typu materiałów w konstrukcjach pozbawionych zamykanej obudowy.

Urządzenia o budowie zamkniętej – Tak skonstruowane drukarki pozwalają precyzyjniej kontrolować środowisko termiczne wydruku w trakcie jego powstawania. Temperatura wewnątrz obudowy urządzenia jest zdecydowanie wyższa niż w pomieszczeniu, co pozytywnie wpływa na proces adhezji poszczególnych warstw i ogranicza skurcz materiału. Równie ważne jest także to, że temperatura wewnątrz komory obniża się po zakończonym wydruku stopniowo, bez gwałtownych skoków i podmuchów chłodnego powietrza.

Dobra praktyka: Dokonując wyboru drukarki 3D FDM, rozważ konstrukcje otwarte i zamknięte w zależności od filamentów z których zamierzasz korzystać najczęściej.

Uwaga: Zamknięta komora drukarki nie wyklucza korzystania z materiałów potrzebujących szybkiego wychładzania w trakcie druku (np. PLA). Upewnij się jednak, że taka obudowa posiada np. system wentylatorów umożliwiających efektywną wentylację w trakcie pracy.

2.3. Ekstruder

Ekstruder – kluczowy element drukarki 3D, za pomocą którego urządzenie pobiera wiązkę filamentu, rozgrzewa ją doprowadzając do jej stopienia, a następnie wytłacza przez dyszę wylotową, nakładając materiał na wydrukowane uprzednio warstwy. Decydujące dla powodzenia całego procesu druku są znajdujące się w ekstruderze elementy mechaniczne, np. radełko popychające filament, silnik który je napędza oraz podzespoły odpowiadające za rozgrzewanie dyszy (blok grzejny). Wyróżniane są dwa podstawowe rodzaje ekstrudera:

- **Direct** – to konstrukcja, w której wszystkie wymienione powyżej elementy składowe ekstrudera znajdują się na ruchomym wózku. Zaletą takiego rozwiązania jest mały dystans który pokonuje wiązka filamentu pomiędzy wciągającym ją radelkiem, a dyszą wylotową. Umożliwia to np. szybkie i precyzyjne ruchy retrakcyjne, a także bezproblemowy wydruk z materiałów gumopodobnych, których wiązka jest bardzo miękka. Wadą natomiast, stosunkowo duży ciężar wózka dźwigającego silnik krokowy, co przekłada się na znaczną masę bezwładnościową i niższą precyzję przy wysokich prędkościach druku.
- **Bowden** – to rozwiązanie w ramach którego silnik ekstrudera i cały mechanizm pobierający filament znajdują się poza ruchomym wózkiem. W ten sposób wózek dźwiga jedynie blok grzejny i dyszę wylotową, będąc tym samym znacznie lżejszym od tych występujących w konstrukcjach direct. Drukarki takie osiągają bardzo wysoką precyzję przy dużych prędkościach pracy, gdyż bezwładność wózka jest stosunkowo niewielka. Znajdujący się na uboczu elementów ruchomych ekstruder jest także łatwiej dostępny dla użytkownika, co przekłada się na większą prostotę serwisowania. Wadą niniejszego rozwiązania jest bardzo duży dystans, jaki pokonuje wiązka filamentu od momentu jej pobrania w ekstruderze do wytłoczenia. Ekstrudery typu bowden wymuszają stosowanie wyższych parametrów retrakcji, co bardziej obciąża silnik ekstrudera i jest ona mniej precyzyjna. Konstrukcja ta niemalże wyklucza również korzystanie z filamentów gumopodobnych o dużej miękkości.

2.4. Dysza wylotowa

Jest to element wieńczący spód ruchomego wózka drukarki. To z końca dyszy wytłaczany jest rozgrzany do kleistej postaci filament, który przylega do stołu roboczego lub poprzednich warstw wydruku. Dysze mają postać niewielkich gwintowanych wkręcanych stożków z otworem wylotowym o różnej średnicy i są elementem wymiennym i eksploatacyjnym. Najpopularniejsze są dysze o średnicy równej 0,4 mm, a montowane fabrycznie najczęściej wykonane są z mosiądzu.

Dobra praktyka: Zmieniaj dyszę wylotową drukarki w zależności od potrzeb.

- **Dysze o średnicy mniejszej niż 0,4 mm** – umożliwiają pomyślny druk za pomocą szerokości ścieżki mniejszej niż standardowe 0,4-0,45 mm oraz za pomocą warstw niższych niż 0,1 mm. Dzięki temu realne jest uzyskanie niezwykle precyzyjnego detalu w drukowanych obiektach. Odbywa się to jednak kosztem czasu, ponieważ wydruki powstające z wykorzystaniem skrajnie niskich warstw będą bardzo czasochłonne.
- **Dysze o średnicy większej niż 0,4 mm** – stosuj w przypadku wydruków relatywnie dużych, kiedy chcesz przyspieszyć proces stosując wysoką warstwę i szeroką ścieżkę nakładanego filamentu, a modele nie posiadają drobnego detalu, którego estetyka mogłaby być niezadowolająca.
- **Dysze o zwiększonej twardości i odporności termicznej i mechanicznej** – zmieniając dyszę w swojej drukarce, zwróć uwagę nie tylko na jej średnicę, ale również tworzywo z którego jest wykonana. Dysze mosiężne są dość miękkie, ulegają stopniowemu zużyciu i nie są właściwe dla materiałów, w skład których wchodzi drobiny metali czy włókna węglowego, gdyż dochodzi do ich przetarcia. Chcąc drukować z filamentów ściernych z domieszkami drobin, wyposaż swoją konstrukcję w dysze wykonane z materiałów takich jak stal narzędziowa czy utwardzana/hartowana.

Maksymalna wysokość warstwy = średnica założonej dyszy * 0,75

Minimalna wysokość warstwy = średnica założonej dyszy * 0,25

Uwaga: Każdorazowo po wymianie dyszy skalibruj ponownie drukarkę zgodnie z instrukcją urządzenia, upewniając się, że odległość końca dyszy od powierzchni stołu roboczego jest właściwa, aby nie doprowadzić do jego zarysowania. Dysze mogą różnić się długością.

Uwaga: Jeżeli zmieniasz średnicę dyszy, uwzględnij tę zmianę w ustawieniach oprogramowania tnącego. Błędnie zdefiniowana średnica będzie prowadziła do nieprawidłowego wytłaczania filamentu lub zatkania ekstrudera.

Uwaga: Postępuj zgodnie z instrukcją obsługi drukarki wymieniając dyszę, np. rozgrzewając ją przed wykręceniem. Wymienianie dyszy „na zimno” może doprowadzić do jej pęknięcia, a zatem nieodwracalnego zniszczenia.

Uwaga: Dysze wykonane z materiałów innych niż mosiądz, mogą posiadać inne przewodnictwo cieplne, zatem mogą wymagać stosowania temperatur wyższych lub niższych niż dotychczas stosowane.

2.5. Stół roboczy

Stół roboczy jest elementem konstrukcyjnym drukarki 3D, który w różnych wariantach występuje zawsze, niezależnie od specyfiki innych rozwiązań. To na jego powierzchni powstaje wydruk, a w związku z tym musi się on do niej stabilnie przyklejać i wytrwać w takim położeniu przez cały czas trwania pracy urządzenia. Biorąc pod uwagę, iż niektóre wydruki trwają kilkadziesiąt godzin, trwałość przylegania modelu do stołu roboczego musi być tak wysoka jak to tylko możliwe.

Ruchomość stołu roboczego:

- **Ruchomy** – występuje w drukarkach skonstruowanych na zasadzie kartezyńskiej i porusza się na osi Y lub Z.
- **Nieruchomy** – charakterystyczny dla konstrukcji typu delta, pozostaje statyczny w trakcie druku.

Uwaga: W przypadku stołu poruszającego się na osi Y, którego ruch zapewniany jest za pomocą paska transmisyjnego, kontroluj jego stan i naprężenie. Jeżeli jest ono niewłaściwe, ruch stołu będzie nieprecyzyjny, a to odbije się negatywnie na jakości wydruku.

Grzanie powierzchni stołu roboczego:

- **Stoły wyposażone w podgrzewaną powierzchnię** – rozwiązanie to występuje w zdecydowanej większości współczesnych drukarek 3D. Temperatura stołu roboczego ustawiana jest z poziomu oprogramowania tnącego lub ręcznie poprzez interfejs drukarki w trakcie jej pracy. Dobór właściwej temperatury stołu roboczego dla konkretnego filamentu ułatwiają producenci materiałów, prezentując odpowiednie zakresy w ich opisach. Dla przykładu, drukując z PLA stosuje się temperatury powierzchni stołu roboczego w zakresach 50-60°C.
- **Stoły pozbawione podgrzewanej powierzchni** – spotykane obecnie niezwykle rzadko. Konstrukcje tego typu charakteryzują się zwiększonymi problemami z adhezją filamentu do ich powierzchni, a w związku z tym użytkownicy zmuszeni są stosować zestaw czynności wspomagających lepkość pierwszej warstwy wydruku (np. pokrywanie powierzchni klejami lub taśmami).

Powierzchnia stołu roboczego zależna jest od wybranego przez producenta drukarki rozwiązania. Rozróżnić należy:

- **Stoły robocze z wymienialną powierzchnią** – W wielu konstrukcjach możliwe jest dostosowywanie powierzchni stołu roboczego do konkretnego filamentu, tak aby uzyskać jak najlepszą adhezję filamentu. Drukarki te posiadają wymienialne płyty będące nakładkami na stół roboczy, lub umożliwiają naklejanie przylepnych i wymiennych powierzchni stołu. Oba te rozwiązania są niezwykle korzystne z punktu widzenia użytkownika, umożliwiając dostosowanie powierzchni do właściwości konkretnego materiału. Dla filamentów elastycznych zasadne jest stosowanie powierzchni fakturowanych zamiast idealnie gładkich.

- **Stoły robocze z niewymienną powierzchnią** – Często występują w postaci powierzchni szklanej, której adhezję warto poprawiać np. za pomocą kleju w sztyfcie, sprayu lub taśm kaptonowych.

Dobra praktyka: Dbaj o stan powierzchni swojego stołu roboczego czyszcząc ją zgodnie z zaleceniami producenta. Nie stosuj niedozwolonych środków chemicznych i nie rysuj jej ostrymi przedmiotami. Uszkodzona lub zdegradowana powierzchnia stołu roboczego traci swoje właściwości adhezyjne i uniemożliwia wykonywanie udanych wydruków.

Dobra praktyka: Posiadając drukarkę 3D FDM umożliwiającą wymianę powierzchni stołu roboczego, eksperymentuj z powierzchniami, które przyniosą najlepszy efekt w przypadku wykorzystywanych filamentów. Istnieją płyty/nakładki o ziarnistej fakturze, gładkie satynowe, czy stalowe. Każde z rozwiązań posiada szereg wad i zalet, a najkorzystniejsze jest każdorazowe dostosowanie stołu roboczego pod kątem konkretnego materiału.

Uwaga: Jednym z podstawowych czynników mających wpływ na powodzenie wydruku jest właściwe wypoziomowanie stołu roboczego. Drukarki posiadające system automatycznego poziomowania, będą je wykonywały przed wydrukiem, orientując poprawnie pozycję dyszy względem powierzchni stołu roboczego. Jest to o tyle istotne, że nawet minimalne odchylenia na poziomie wartości mniejszych niż 0,1 mm, będą skutkowały drastycznym pogorszeniem estetyki wydruku, lub nawet jego zupełnym niepowodzeniem. W przypadku urządzeń, które nie poziomują samodzielnie stołu, stosuj wskazaną przez producenta procedurę kalibracji położenia osi Z co kilka wydruków, a na pewno przed każdym wydrukiem wielogodzinnym i skomplikowanym.

Dobra praktyka: Problem z adhezją pierwszej warstwy wydruku, może być kwestią błędnego wypoziomowania dyszy względem powierzchni stołu roboczego. Wykonuj procedurę poziomowania każdorazowo np. po zmianie płyty na stole roboczym, zastosowaniu taśmy kaptonowej, czy naklejki zmieniającej właściwości powierzchni stołu.

2.6. Interfejs

Drukarki 3D wyposażone są w wyświetlacz i panel sterujący. Elementy te mogą być zintegrowane w postaci wyświetlacza dotykowego. Jest to niezwykle ważny aspekt urządzenia, ponieważ umożliwia monitorowanie podstawowych parametrów druku, oraz ich zmianę. Mowa np. o temperaturze dyszy, temperaturze stołu roboczego, współczynnika przepływu filamentu. Pozwala to uratować wydruk bez konieczności jego przerywania w sytuacji gdy zauważalny błąd da się skorygować za pomocą korekty parametrów.

Dobra praktyka: jeżeli drukując duże płaskie powierzchnie (np. płytki będące podstawami właściwego modelu) zauważysz delikatne wybrzuszanie i odkształcanie wydrukowanych ścieżek ułożonych równoległe względem siebie, dokonaj obniżenia o 5% parametru przepływu filamentu (współczynnika ekstruzji). Zmiany tej dokonasz właśnie z poziomu interfejsu drukarki. Po wydrukowaniu powierzchni płaskiej, kiedy drukarka zacznie tworzyć bardziej skomplikowany nadruk, przywróć poprzednią wartość współczynnika.

Dobra praktyka: Dbaj o aktualność oprogramowania swojej drukarki. Aktualizacje często wprowadzają również nowe funkcjonalności interfejsu drukarki.

3. Przygotowanie Drukarki 3D do pracy

Przystępując do wydruku przygotuj swoją drukarkę w następujący sposób stosując się do wskazanej kolejności:

1. Pozostałości poprzednich wydruków - oczyść urządzenie z resztek filamentu, który zanieczyścił podzespoły drukarki.
 - a) Uwagę zwrócić należy przede wszystkim na dyszę wylotową wraz z jej najbliższą okolicą. Wytłaczany w trakcie wydruku filament ma tendencję do przylepiania się do brzegów dyszy, gdzie zapieka się i tworzy twardą, coraz trudniejszą do usunięcia powłokę. Zaniechanie regularnego oczyszczania dyszy może prowadzić do zaczepienia nagromadzonego zabrudzenia o wydruk.
 - b) Resztki filamentu pozostają również bardzo często na powierzchni stołu roboczego, skąd muszą zostać bezwzględnie usunięte.

2. Jeżeli urządzenie nie było użytkowane przez dłuższy czas, niezbędne jest wykonanie podstawowych czynności sprawdzających kondycję urządzenia.
 - a) **Usuń nagromadzony kurz i pył** - drukarka pracuje wykorzystując podzespoły nagrzewające się do wysokich temperatur oraz takie, które szybko się przemieszczają. Należy unikać sytuacji, w których będą one zakurzone lub zabrudzone w jakikolwiek inny sposób. Oczyścić z kurzu należy również wiatraczki wentylacyjne, zwracając szczególną uwagę na łopatki ich wirników.
 - b) **Sprawdź napięcie pasków napędowych** - Jeżeli drukarka wykorzystuje do poruszania wózka lub stołu roboczego paski klinowe/napędowe/zębate, należy upewnić się, że poziom ich napięcia jest właściwy. Najczęściej można dokonać tego z poziomu menu urządzenia, które wskaże siłę naprężeń. Niewłaściwe napięcie będzie skutkowało utratą precyzji pracy, a w skrajnych przypadkach awarią.
 - c) **Sprawdź smarowanie torów poruszania się elementów ruchomych** - wózek drukarki, a czasem również stół roboczy, poruszają się we właściwych dla siebie kierunkach dzięki szynom lub rurkom, które stanowią dla nich kierunkujące ruch tory. W większości popularnych konstrukcji należy dbać o odpowiednie ich nasmarowanie, aby elementy te nie generowały nadmiernego tarcia.

3. Uruchom drukarkę i wykonaj czynności:

- a) **Załadowanie filamentu** - Przygotowane w toku poprzednich czynności i uruchomione urządzenie jest gotowe do załadowania filamentu potrzebnego do druku. Sam proces załadunku jest o tyle istotny, że nie tylko pozwala przygotować drukarkę do pracy z kolejnym materiałem, ale weryfikuje czy ekstruder jest sprawny oraz czy nie jest zapchany. Zatkany lub nadmiernie zanieczyszczony wewnątrz ekstruder nie pozwoli przeprowadzić właściwie procesu załadunku filamentu. Wprowadzaj wiązkę filamentu w oparciu o procedurę zalecaną przez producenta danej drukarki.
- b) **Poziomowanie stołu / kalibracja pierwszej warstwy** - Powodzenie wydruku zależne jest w dużej mierze od tego jak wydrukowana zostanie pierwsza warstwa, a to wymaga maksymalnie precyzyjnego skalibrowania pozycji dyszy względem stołu roboczego. Postępuj zgodnie z zaleceniami producenta odnośnie owej procedury i powtarzaj ją co kilka lub kilkanaście wydruków, a zwłaszcza przed każdym ważnym i czasochłonnym wydrukiem, którego jakość ma być wysoka.
- c) **Przygotowanie powierzchni stołu roboczego** - wyczyszczony i skalibrowany/wypoziomowany stół roboczy może być poddany ostatnim przygotowaniom przed wydrukiem. Jeżeli posiadasz wymienne płyty zmieniające właściwości jego powierzchni, załóż odpowiednią dla danego materiału. Jest to również ostatni moment aby ewentualnie nałożyć na powierzchnię stołu substancje poprawiające adhezję, np. klej.
- d) **Stabilizacja środowiska zewnętrznego** (dla wydruków wymagających zamkniętej komory) - przygotowując się do wydruku z materiału mającego tendencję do dużego skurczu (np. ABS), skorzystaj z zalet jakie niesie ze sobą zamykana komora robocza drukarki. Po ukończeniu wszystkich powyższych czynności, zamknij jej drzwi i włącz na kilkanaście minut grzanie stołu roboczego. Podniesie to i ustabilizuje na wysokim poziomie temperaturę wewnątrz oraz zmniejszy wilgotność powietrza, co zaprocentuje ograniczeniem występowania negatywnych zjawisk przy pracy z kurczliwymi materiałami.

4. Uruchom wydruk.

Przygotowanie powierzchni druku jest kluczowe dla powodzenia wydruku. Jeśli drukarka nie jest prawidłowo skalibrowana, a powierzchnia nie pozwala na dobrą przyczepność, wydruk się nie powiedzie.

W pierwszych, najprostszych drukarkach 3D powierzchnia stołu do drukowania miała postać szklanego blatu lub lustra bez dodatkowego podgrzewania. Aby zwiększyć przyczepność dla ABS, do takiej powierzchni stosowany jest tzw. sok z ABS (rozpuszczony w acetonie ABS) lub zwykły klej do papieru, który sprawdzi się także przy innych materiałach, np. PLA.

Obecnie najczęściej stosowana jest powierzchnia z folią PEI. Jest to zasługa jej łatwego przygotowania - folię należy utrzymywać w czystości, oraz odtłuścić.

Folia PEI jest kompatybilna z różnymi materiałami, z wyjątkiem przypadków, gdy drukujemy z PET. W takiej sytuacji potrzebne może być użycie kleju biurowego jako tzw. separatora, ponieważ adhezja PET do PEI może być zbyt silna, co utrudnia usuwanie wydruku ze stołu.

4. Nadzór procesu druku w trakcie jego trwania

Na pożądany efekt pracy drukarki 3D składa się wiele czynników i parametrów, które zdefiniowane zostają w procesie cięcia modelu. Niestety ich mnogość sprawia, że istnieje też dużo obszarów występowania potencjalnych błędów powodujących pogorszenie jakości wydruku lub nawet jego całkowite nieudanie. Wiele poważnych trudności da się wychwycić na początkowym etapie ich występowania, a co za tym idzie, możliwe jest uratowanie trwającego wydruku lub przeciwdziałanie im w przyszłości. Dlatego tak ważne jest obserwowanie pracującego urządzenia, zwłaszcza w przypadku mniej doświadczonych użytkowników. Drukując modele relatywnie nieskomplikowane oraz posiadając odpowiednią dozę praktyki, nie będzie potrzebny stały nadzór nad pracującą drukarką.

Dobra praktyka: Każdorazowo uważnie nadzoruj osobiście wydruk gdy:

- Posługujesz się nową drukarką, w której obsłudze nie posiadasz jeszcze należytego doświadczenia.
- Stosujesz nowy, nie używany wcześniej filament. Testując optymalne temperatury pracy materiału możesz doprowadzić do zatkania ekstrudera, zwłaszcza przy niskich wartościach.
- Wykonujesz wydruk modelu skomplikowanego geometrycznie. Pozwoli to ocenić czy wizualizacja prezentowana w oprogramowaniu tnącym ma odzwierciedlenie w rzeczywistym, powstającym na bieżąco wydruku.
- Stosujesz parametry druku, którymi zbliżasz się do granic możliwości sprzętowych, np. bardzo niska/wysoka warstwa, wysokie prędkości druku, itp.

Uwaga: Symptomy problemów pojawiających się w trakcie wydruku zidentyfikujesz:

- **Za pomocą komunikatów** wyświetlanych na wyświetlaczu drukarki – Drukarka 3D wyświetli komunikat o większości błędów technicznych jakie mogą zaistnieć w trakcie jej pracy, np. o wadliwym podzespole. Co ważne, większość urządzeń nie zdiagnozuje samodzielnie sytuacji takich

jak oderwanie wydruku od stołu roboczego i będzie prowadziło proces druku dalej, wyciskając filament w powietrze, generując zabrudzenia ekstrudera i przestrzeni roboczej.

- **Za pomocą parametrów** wyświetlanych na ekranie drukarki – W trakcie druku większość urządzeń wyświetla aktualne parametry temperaturowe dyszy oraz stołu roboczego, oraz parametry docelowe, zdefiniowane wcześniej przez użytkownika. Jeżeli występuje tu znaczna rozbieżność, oznaczać to może problem techniczny z grzałkami lub kontrolerami termicznymi urządzenia. Drukarki 3D umożliwiają również zmianę zadanych temperatur w trakcie trwania wydruku, co może go uratować, jeżeli użytkownik popełnił błąd na etapie cięcia modelu lub zauważył, że inne wartości będą korzystniejsze.
- **Wzrokowo** – Obserwując pracę urządzenia, baczność uwagę należy przykładac do każdej sytuacji w której powstający wydruk różni się względem utworzonego modelu 3D. Przykłady konkretnych, widocznych problemów opisane zostały poniżej.
- **Słuchowo** – Wiele problemów z trwającym wydrukiem daje się wykryć na wczesnym etapie ich występowania właśnie poprzez charakterystyczne dźwięki jakie zaczyna wydawać Drukarka 3D. Przykłady konkretnych, słyszalnych problemów opisane zostały poniżej.
- **Za pomocą węchu** – W trakcie druku 3D w pomieszczeniu zawsze wyczuwalny będzie charakterystyczny zapach właściwy dla konkretnego filamentu. W przypadku PLA może on się wydawać wręcz przyjemny, ale inne materiały mogą generować opary nieprzyjemne, gryzące czy wręcz toksyczne. Jest to zjawisko normalne i nie powinno wzbudzać niepokoju, w odróżnieniu np. od zapachu spalenizny. Wyczuwalny w powietrzu zapach przypalającego się tworzywa sztucznego może oznaczać, iż jakaś część filamentu nie opuszcza ekstrudera, zablokowany się i zapieka np. wewnątrz dyszy. Im szybciej zatrzymany zostanie wydruk i wyczyszczony przypalający się filament, tym łatwiej będzie go usunąć bez uszczerbku dla podzespołów.

Zjawiska będące widocznymi oznakami problemów z wydrukiem:

4.1. Z dyszy nie wydostaje się materiał

- **Doszło do zatkania ekstrudera** – topiony wewnątrz ekstrudera materiał stał się np. zbyt gęsty, nie wydostawał się przez dyszę dostatecznie szybko, a narastające ciśnienie sprawiło, że filament zasklepił się. Wydruk musi zostać przerwany, a ekstruder odetkany i wyczyszczony.
- **Wiązka filamentu pękła wewnątrz ekstrudera i drukarka go nie pobiera** – Jeżeli wiązka filamentu samoistnie wypadła z ekstrudera, oznacza to najprawdopodobniej, że doszło do jej pęknięcia lub przetarcia i zerwania. Problem zauważony natychmiast po jego wystąpieniu da się naprawić poprzez zapauzowanie wydruku i ponowne załadowanie filamentu. Jeżeli drukarka nie jest wyposażona w czujnik filamentu, to sama nie zdiagnozuje jego nagłego braku i doprowadzi to do prowadzenia procesu drukowania „na pusto”.

4.2. Materiał wycieka z dyszy w nadmiarze

- **Temperatura ekstrudera jest zbyt wysoka** – Dany filament wymaga dużo niższych niż zdefiniowane przez użytkownika temperatur pracy. Rozwiązaniem może być stopniowe obniżanie temperatury ekstrudera w skokach o 5 °C, aż do momentu ustania zjawiska.
- **Zbyt niski jest parametr retrakcji filamentu** – Pod wpływem grawitacji, topiony w ekstruderze filament wypływa z dyszy, gdy przesuwają się one pomiędzy drukowanymi elementami zanieczyszczając wydruk. Przeciwdziała temu retrakcja, będąca podciąganiem wiązki filamentu po zakończeniu drukowania danego kształtu. Można ją kontrolować za pomocą parametrów długości i prędkości wykonywania. Oba te parametry należy stopniowo zwiększać w przypadku występowania charakterystycznych nitczek czy włosków wydobywających się z dyszy i rozpościerających się pomiędzy elementami wydruku. Właściwa długość i prędkość retrakcji najczęściej sugerowana jest przez producenta materiału.

4.3. Wydruk zaczyna się podwijać i odrywać od stołu roboczego

- **Temperatura stołu roboczego jest zbyt niska** – ustawiona temperatura stołu roboczego jest zbyt niska dla danego filamentu i sprawia, że jego adhezja jest za słaba. Rozwiązaniem jest podniesienie temperatury o 5°C i ocena efektów przy kolejnym wydruku. Czynność można kilkakrotnie powtórzyć ale zastosowanie zbyt wysokiej temperatury stołu roboczego doprowadzi do degradacji pierwszych warstw wydruku.
- **Zastosowana została niewłaściwa powierzchnia stołu roboczego** – Poszczególne filamenty osiągają najlepszą przyczepność do powierzchni stołu roboczego na różnych jego typach. Np. dla PLA najlepiej sprawdzają się gładkie stoły robocze, pozbawione faktur lub powierzchnie szklane. Materiały gumopodobne stabilniej przytwierdzają się pierwszą warstwą wydruków do płyt fakturowanych. Odpowiedni dobór powierzchni stołu roboczego, lub właściwe jej przygotowanie ma kluczowe znaczenie dla stabilnego i trwałego przylegania pierwszej warstwy wydruku przez cały czas trwania procesu.
- **Skurcz materiału jest zbyt duży** – Wiele materiałów charakteryzuje się zjawiskiem zmniejszania swojej objętości po wydrukowaniu, a dzieje się tak w trakcie wychładzania wydruku. Jeżeli przebiega ono zbyt gwałtownie, wydruk zwłaszcza w obszarach dużych płaskich powierzchni, zaczyna się podwijać i odkształcać. Przeciwdziałają temu zamykane konstrukcje drukarek, które niwelują wpływ zewnętrznych czynników atmosferycznych. Jeżeli nie dysponujemy zamykaną komorą roboczą, należy zadbać o możliwie stabilne temperaturowo środowisko, wykluczyć wszelki ruch powietrza przyspieszający stygnięcie modelu w trakcie jego powstawania.

4.4. Efekt „spaghetti”

- **Wydruk odkleił się od stołu roboczego i drukarka prowadzi proces wytłaczania rozgrzanego filamentu w powietrzu, nie nakładając go na poprzednio wydrukowane warstwy** – W przypadku wystąpienia wskazanego problemu, należy przerwać wydruk, wyczyścić obszar roboczy drukarki i przystąpić do niego ponownie upewniając się, że zapewnimy stabilne przyleganie wydruku do powierzchni stołu roboczego.

4.5. Dźwiękowe symptomy problemu

- **Komunikaty dźwiękowe drukarki** – Większość drukarek 3D komunikuje się z użytkownikiem również dźwiękowo za pomocą prostych dźwięków mających skierować uwagę użytkownika. Nie każdy sygnał dźwiękowy jest informacją o wykrytym błędzie, dla przykładu, zastosowanie komendy M600 wymuszającej ręczną zmianę filamentu w trakcie druku spowoduje nie tylko wstrzymanie wydruku, ale również aktywację sygnałów dźwiękowych mających powiadomić użytkownika o potrzebie interwencji.
- **Dźwięk „klikania” ekstrudera** – Jeżeli w procesie druku słyszalny jest dźwięk zbliżony do „klikania” lub pojedynczych powtarzalnych trzasków i występuje zwłaszcza w trakcie wykonywania przez drukarkę ruchów retrakcyjnych, najprawdopodobniej oznacza to, że radetko odpowiedzialne za przesuwanie wiązki materiału wewnątrz ekstrudera nie jest w stanie odpowiednio „wgryźć” się w materiał i dochodzi do jego ślizgania się po powierzchni filamentu. Skutkować to będzie niepoprawną ilością wytłaczanego lub wycofywanego materiału, a to natychmiast rzutować będzie na jakość powstającego modelu. Aby przeciwdziałać problemowi, należy poprawnie, zgodnie z instrukcją obsługi urządzenia, wyregulować nacisk wałka przesuwającego filament lub/oraz wyczyścić go, ponieważ jego zabrudzone ząbki posiadają zmniejszoną przyczepność. Regulowanie wspomnianej siły nacisku wymaga wyczucia oraz doświadczenia i może być różnicowanie względem różnych rodzajów materiału. Materiały twarde (np. PLA, ABS) mogą wymagać innej siły nacisku radetka niż materiały gumopodobne.
- **Dźwięk syczenia i pstrykania w okolicach dyszy** – Odgłos syczenia (zbliżony do słyszanego z oddali dźwięku smażenia), którego towarzyszy nieregularne pstrykanie w miejscu wyptywania filamentu z dyszy najczęściej jest oznaką zawilgotniałego materiału. W przypadku wystąpienia wspomnianych zjawisk, wydruk powinien zostać przerwany, a użytkownik powinien doprowadzić filament do stanu używalności poprzez wysuszenie go. Temperaturę i czas suszenia najczęściej określa producent danego materiału. Właściwe przechowywanie filamentu w szczelnym i suchym opakowaniu, przeciwdziała jego wilgotnieniu i degradacji. Niewłaściwie przechowywany materiał zawsze ulega stopniowej degradacji.

- **Odgłosy nienaturalnie głośno pracujących silników** – Ustawione przez użytkownika parametry prędkości druku mogą zostać przeszacowane w górę, zmuszając silniki drukarki do nadmiernego wysiłku. Przegrzewające się silniki mogą generować niestandardowe odgłosy pracy, a w skrajnych przypadkach może to wpływać na precyzję ich ruchów odbijającą się niekorzystnie na wyglądzie powstającego modelu. Nadmiernemu obciążeniu silników należy przeciwdziałać zmniejszając prędkość druku.
- **Niestandardowa praca wiatraczka przy ekstruderze** – Ekstruder większości drukarek 3D wyposażony jest w wentylator, za pomocą którego generowany jest nawiew skierowany na wytłaczany z dyszy filament. Struga powietrza pozwala szybko wychładzać materiał i prowadzi do jego sprawniejszego zastygania. Umieszczenie wiatraczka sprawia jednak, że łopaty wirniczka narażone są na fizyczny kontakt np. z resztkami filamentu lub kurzem. Zabrudzenia prowadzą często do generowania przez wiatraczek nadmiernego hałasu, a zignorowanie problemu może spowodować trwałe uszkodzenie wiatraczka. Wentylator ten powinien być regularnie czyszczony.

5. Zdejmowanie wydruku ze stołu roboczego

Chcąc wykonać wydruk na drukarce typu FDM, najpierw musimy dążyć do tego, aby wydruk przykleił się do stołu roboczego wystarczająco trwale, co zapobiegnie jego odklejaniu się podczas wydruku. Gdy wydruk zostanie zakończony niezbędne jest zdjęcie wydruku z powierzchni stołu w sposób bezpieczny dla samego wydruku jak i dla powierzchni stołu.

Zdjęcie wydruku zawsze musi być wykonane umiejętnie, w sposób dostosowany do rodzaju stołu roboczego.

5.1. Sztywna powierzchnia stołu

Gdy powierzchnia stołu roboczego drukarki 3D ma formę sztywną, czyli ma postać szyby lub lustra, zdjęcie wydruku wymaga użycia siły mechanicznej skierowanej na połączenie wydruku ze stołem.

5.1.1. Umiejętne oderwanie wydruku

Najprostszym sposobem jest ostrożne chwycenie modelu i próba jego delikatnego usunięcia z platformy. Pomocne może być chwycenie wydruku i jego umiejętne skręcanie i obracanie, aby wydruk się odczepił.

Gdy to nie pomaga, a wydruk ma solidną konstrukcję można zastosować większą siłę. W niektórych przypadkach można użyć gumowego młotka. Wówczas należy wyjąć powierzchnię stołu wraz z wydrukiem z drukarki, a następnie ostrożnie uderzać bok wydruku gumowym młotkiem. Ważne jest, aby robić to delikatnie, unikając uszkodzenia zarówno wydruku, jak i samej platformy.

5.1.2. Podważenie szczeliny

Jeśli pomiędzy wydrukiem a platformą wydruku istnieje choćby drobna szczelina można użyć ostrego, płaskiego narzędzia, które po wsunięciu powiększy szczelinę doprowadzając do pęknięcia połączenia wydruku ze stołem i łatwe jego zdjęcie. Jako narzędzia można użyć szpachelek, ostrzy noża lub żyletki (z odpowiednim

uchwytem). Zawsze należy jednak zachować szczególną ostrożność, aby nie uszkodzić powierzchni roboczej - każde zarysowanie będzie odciskać się na kolejnych wydrukach, oraz będzie osłabiać przyczepność wydruku. Najbezpieczniejsze będzie użycie np. zaostrej karty kredytowej lub noży ceramicznych.

5.1.3. Użycie nici dentystycznej

Do zdjęcia opornych wydruków 3D można wykorzystać nici dentystyczne. Aby zastosować tę metodę, należy wsunąć nić dentystyczną pod krawędź wydruku. Następnie wykonując ruchy przesuwne w poziomie, przypominające piłowanie, należy poruszać nitką wzdłuż dolnej powierzchni wydruku. W zależności od tego, jak silnie wydruk jest przytwierdzony do platformy, może być konieczne powtórzenie tego procesu wzdłuż całej krawędzi dolnej części wydruku.

Korzystając z tej metody, zazwyczaj unikniemy uszkodzenia powierzchni roboczej, przez co metoda ta jest względnie bezpieczna do stosowania na różnych rodzajach powierzchni stołów drukarki 3D. Nici dentystyczne są łatwo dostępne i niedrogie, dlatego warto mieć je pod ręką jako pomocne narzędzie do usuwania trudnych do oderwania wydruków.

5.1.4. Różnica temperatur

Nieco bardziej subtelny sposób polega na wykorzystaniu kurczenia się materiału wraz z temperaturą. Dzięki temu w połączeniu z powierzchnią stołu pojawią się mikropęknięcia ułatwiające jego oderwanie.

Pierwszym krokiem zawsze powinno być odczekanie, aż wydruk w pełni się ochłodzi - dopiero wtedy należy próbować jego oderwania. Gdy nie będzie to wystarczające można schłodzić wydruk poniżej temperatury pokojowej używając sprężonego powietrza. Schładzać należy tylko wydruk co zwiększy różnicę temperatur między wydrukiem a stołem.

Niekiedy pomocne może być schłodzenie platformy wraz z wydrukiem poprzez ich umieszczenie na ok. pół godziny w lodówce lub zamrażarce.

W przypadku wydruków delikatnych i potencjalnie mogących ulec łatwemu połamaniu podczas ściągania, warto spróbować także metody odwrotnej niż powyższa, a mianowicie podgrzania stołu roboczego. Przy stosowaniu PLA, stół rozgrzany do temperatury ok. 60 °C sprawi, iż podstawa wydruku zacznie być lekko plastyczna, a to pozwoli np. unieść krawędź wydruku i stworzyć małą szczelinę pomagającą później oderwać model mechanicznie poprzez podważenie. Nie próbuj jednak zdejmować w ten sposób wydruków płaskich o dużej powierzchni, gdyż mogą ulec trwałemu odkształceniu.

5.1.5. Użycie rozpuszczalnika

W szczególnych sytuacjach pomocne może być zastosowanie substancji rozpuszczającej, dobrej do bieżącego wydruku.

Jeśli powierzchnia stołu roboczego pokrywana była wcześniej klejem biurowym pomocne będzie użycie ciepłej wody. W innych sytuacjach właściwe będzie użycie alkoholu izopropylowego.

Wokół krawędzi wydruku należy nanieść niewielką ilość rozpuszczalnika. Po pewnym czasie należy spróbować zdjąć wydruk umiejętnie używając siły.

5.2. Elastyczna powierzchnia robocza

Najbardziej wygodne do zdejmowania wydruków jest używanie elastycznej powierzchni roboczej. Ma ona postać zdejmowanej płyty, która ma możliwość odginania się. Obecnie jest to najczęściej stosowane rozwiązanie w drukarkach 3D typu FDM. Zdejmowane płyty mogą mieć różny rodzaj powierzchni, zależnie od tego, jaki materiał wydruku chcemy zastosować.

Elastyczna płyta robocza umożliwia łatwe usuwanie wydruków poprzez zgięcie lub delikatne wyginanie powierzchni, co ułatwia oddzielenie modelu od stołu drukarki. Dzięki elastyczności platformy można także uniknąć problemów z uszkodzeniem modelu podczas usuwania.

Zdejmując wydruk należy uważać, aby nie uszkodzić ani stołu ani wydrukowanego modelu.

Jeśli drukarka ma elastyczną powierzchnię roboczą możliwe jest łatwe i bezpieczne zdjęcie wydruku poprzez zgięcie lub delikatne wyginanie powierzchni.

Jeśli drukarka posiada sztywną powierzchnię roboczą zdjęcie wydruku wymaga większej uwagi:

- **Poczekaj** – zanim rozpoczniesz usuwanie modelu z platformy roboczej pozwól jej wystygnać. To znacznie ułatwi cały proces, a model będzie mniej podatny na odkształcenia plastyczne. Pamiętaj, że w momencie zakończenia druku, temperatura stołu nadal jest stosunkowo wysoka (PLA jest plastyczne wciąż przy temperaturze ok. 60°C).
- **Pociągnij** – usunięcie modelu przy pomocy umiejętnie użytej siły – możesz spróbować pociągnąć, skręcić lub lekko obrócić wydruk względem powierzchni. To powinno pomóc pod warunkiem, że geometria twojego wydruku nie jest zbyt delikatna (np. elementy ażurowe).
- **Podważ** – przy pomocy ostrego, płaskiego narzędzia podważ wydruk. Możesz użyć noża, szpachli malarskiej czy specjalistycznej szpachelki do usuwania wydruków – najlepiej, aby ostrze było jak najcieńsze, aby wsunąć je pod wydruk. Możesz również użyć śrubokręta jako dłuta – wsuń narzędzie w szczelinę pomiędzy stołem a wydrukiem i uderzaj lekko w trzonek. Pamiętaj, aby przez przypadek nie uszkodzić pierwszej warstwy wydruku oraz nie porysować stołu roboczego.
- **Rozpuść** – w przypadku materiałów syntetycznych możesz eksperymentować z użyciem rozpuszczalnika. Jeżeli drukujesz z ABS-u możesz spróbować zwilżyć dolną warstwę wydruku acetonem. Jeśli używasz klejów – w sztyfcie lub specjalistycznych, adhezyjnych – użyj wody (możesz również dodać detergentu).
- **Nitkuj** – użyj nici dentystycznej. Złap oba końca nici i wsuń napiętą część pomiędzy wydruk a stół i stanowczym ruchem pociągnij. W ten sposób nie uszkodzisz ani stołu, ani wydruku.

6. Drukowanie brajla w orientacji poziomej

Tworzenie za pomocą techniki druku 3D (FDM) obiektów zawierających napisy brajlowskie może narażać wielu problemów. Spowodowane to jest relatywnie małym rozmiarem punktu brajlowskiego, który zbliża się do granicy możliwości większości popularnych drukarek wykorzystujących tę technologię. Trudnością jest także fakt, iż gotowy wydruk musi spełniać rygorystyczne kryteria wymiarowe i estetyczne, aby był czytelny dotykowo.

Uwaga – W wydruku zawierającym napis brajlowski, niedopuszczalne są wszelkie niedoskonałości jego powierzchni w postaci np. nadatków materiału (ostre zadziory, zniekształcenia obłości punktów, itp.), ponieważ negatywnie wpływa to na odbiór zapisanej informacji.

Istnieje jednak zbiór praktyk, których wdrożenie znacząco zwiększa szanse uzyskania zadowalającego wydruku napisów brajlowskich, przy równoczesnym ograniczeniu konieczności wykonywania późniejszej fizycznej obróbki modelu.

Dobra praktyka: Skorzystaj z następujących opcji/ustawień, aby uzyskać maksymalnie udany wydruk znaków brajlowskich:

- Nadawaj wysokość pojedynczej warstwy nie większą niż 0,1 mm – możesz eksperymentować z warstwą niższą niż wskazana, ale jej zwiększanie zdeformuje charakterystyczny, obły kształt punktu.
- Stosuj prędkość druku małych obrysów na poziomie 5 mm/s lub mniejszą – punkt brajlowski z racji swoich niewielkich rozmiarów będzie interpretowany przez oprogramowanie tnące jako obiekt składający się z jedynie bardzo krótkich obrysów. Dlatego też, to ich prędkość druku determinuje precyzję, z jaką drukarka będzie budowała brajlowskie znaki.
- Ustawiaj szerokość ekstruzji dla obrysów i obrysów zewnętrznych równą lub nie większą niż 0,4 mm. Niech wszystkie linie składające się na pojedyncze warstwy punktu brajlowskiego będą cieńsze niż stosowane domyślnie 0,45 mm w przypadku drukarek wyposażonych w dysze

o średnicy 0,4 mm. Pozytywnie wpływa to na precyzję wyrysowania kształtu punktów.

- Zmniejsz współczynnik ekstruzji do poziomu 0,98 (w przypadku filamentów, w których standardowo równy jest on 1). Ograniczysz w ten sposób wypływ materiału, co w przypadku niskich warstw i prędkości druku, odbije się korzystnie na jego jakości ograniczając np. błędy retrakcji.
- Zmniejsz o 5°C temperaturę dyszy dla obszarów wydruku, w których tworzone są punkty brajlowskie. To również (jak w przypadku obniżenia współczynnika ekstruzji) korzystnie zmniejszy wypływ materiału.
- Wyłącz funkcję czyszczenia dyszy poprzez gwałtowne unoszenie głowicy po każdym z obrysów (tzw. Z-hop). Jest korzystna w wielu przypadkach, ale przy drukowaniu wielu punktów brajlowskich może powodować zanieczyszczenie ich powierzchni.

7. Drukowanie brajla w orientacji pionowej

Jak zostało omówione w powyższym punkcie, drukowanie punktów brajlowskich w technologii FDM jest procesem stosunkowo skomplikowanym i złożonym, zwłaszcza dla użytkowników rozpoczynających zgłębianie tematyki. Istnieje jednak technika, która umożliwia osiąganie wydruków zawierających napisy brajlowskie o niezwykle wysokiej jakości w sposób relatywnie łatwy.

Kształt punktu brajlowskiego sprawia, iż jeżeli jest on umiejscowiony na powierzchni prostopadłej względem stołu roboczego drukarki, to zostanie zinterpretowany przez oprogramowanie tnące jako dopuszczalny nawis. Oznacza to, że możliwe jest wydrukowanie napisu brajlowskiego w orientacji pionowej bez stosowania jakichkolwiek struktur podporowych.

Uwaga: Technika drukowania punktów brajlowskich w orientacji pionowej możliwa jest do zastosowania tylko w przypadku modeli, których płaszczyzna je zawierająca będzie zorientowana względem stołu roboczego o 90° . Dlatego też jest to metoda stosowana najczęściej dla nieskomplikowanych geometrycznie modeli, np. tabliczek objaśniających.

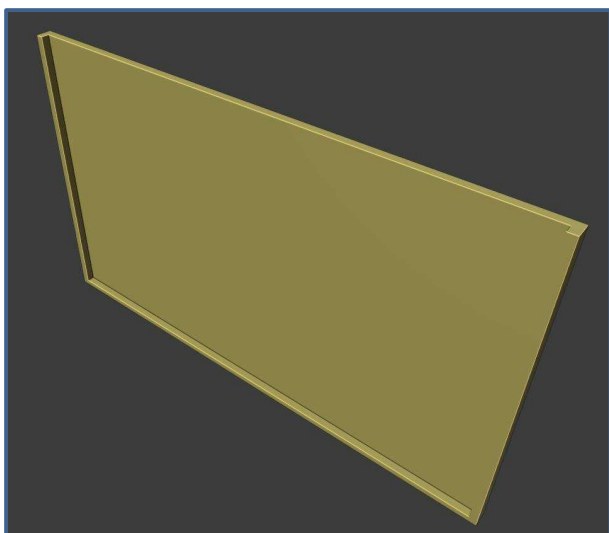
Dobra praktyka: Aby wydrukować napis brajlowski w orientacji pionowej zadbaj o:

- **Orientację modelu** – ustaw obiekt tak, aby płaska powierzchnia pokryta punktami brajlowskimi ustawiona była prostopadle względem stołu roboczego drukarki.
- **Wysokość warstwy** – ustal wysokość warstwy dla modelu, a przynajmniej dla jego części zawierającej punkty brajlowskie, na poziomie 0,075 mm.
- **Prędkość** – zdefiniuj prędkość druku obrysów z których będzie składała się powierzchnia punktu brajlowskiego na poziomie około 15 mm/s.

Dobra praktyka: Tworząc tabliczki z napisami brajlowskimi i chcąc wydrukować je pionowo, ustalaj ich grubość na 0,8 mm. Dzięki temu, przygotowując taki model do druku w oprogramowaniu tnącym, możesz ustawić ilość stosowanych obrysów na 1 i wyłączyć stosowanie wypełnienia. Wydruk tworzony będzie relatywnie szybko przy zachowaniu wystarczającej jego wytrzymałości.

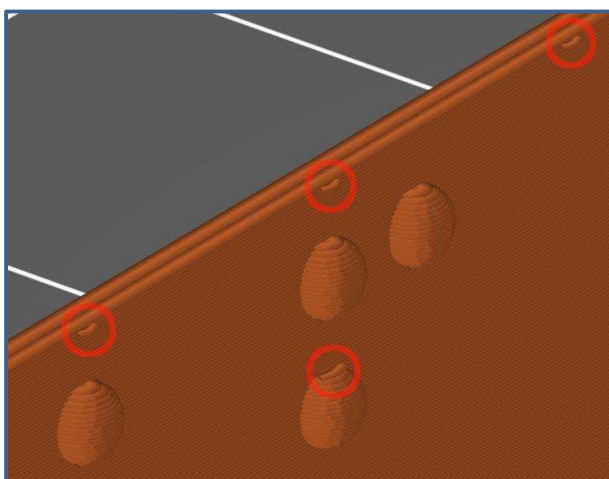
Dobra praktyka: Cienkie płytki/tabliczki ustawiane pionowo na stole roboczym, mogą mieć tendencję do podwijania się na krawędziach, lub nawet odrywania się od jego powierzchni w trakcie druku. Żeby temu zapobiec możesz:

- Stosować niewielkie wypustki na tylnej powierzchni płytek, aby zwiększyć ich powierzchnię stykającą ze stołem (patrz grafika 1).
- Zwiększyć grubość płytki, aby jej pierwsza drukowana warstwa składała się z większej ilości obrysów.
- Włączyć w oprogramowaniu tnącym funkcję generowania raftu. Stworzona i wydrukowana w ten sposób pod modelem podstawka bardzo zwiększa prawdopodobieństwo utrzymania się modelu na stole roboczym. Po zakończeniu wydruku, raft należy oderwać od właściwego modelu.
- Oczywiście dobrym pomysłem będzie także zastosowanie rozwiązań wskazanych w punkcie 2.10 (Pierwsza warstwa i jej kluczowe znaczenie dla wydruku) niniejszego opracowania.



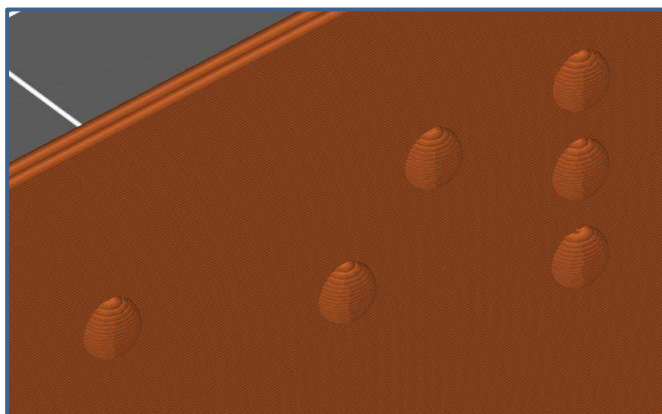
Grafika 1

Uwaga: Wysokość pojedynczego punktu brajlowskiego ustawionego prostopadle względem stołu roboczego nie jest podzielna przez proponowaną powyżej wysokość warstwy druku (0,075 mm). Dlatego też oprogramowanie tnące dzieląc punkt na warstwy, może generować bardzo krótkie, nie połączone z resztą bryły obrysy (zaznaczone na [grafice 2](#)), pojawiające się tuż nad lub tuż pod punktem. Efekt ten jest wysoce niepożądany i w trakcie wydruku objawia się nieestetycznymi zaciekami lub zanieczyszczeniami modeli. Aby przeciwdziałać temu zjawisku w przypadku aplikacji PrusaSlicer należy wyłączyć funkcję “wykrywania cienkich ścian” lub manipulować wysokością warstwy dla rzędu punktów brajlowskich, w których wystąpią owe krótkie linie.



Grafika 2

Dobra praktyka: Wyłącz funkcję wykrywania cienkich ścian lub zmieniaj wysokość warstwy dla danego obszaru o 0,001 mm w górę lub w dół, do momentu aż na podglądzie wydruku nie będą widoczne wspomniane powyżej krótkie, oderwane od całości bryły linie. Właściwie przygotowaną do druku tabliczkę brajlowską prezentuje [grafika 3](#).



Grafika 3

8. Proces wykańczania wydruku

Nawet jeżeli zakończony proces druku 3D uznamy za udany i efekt spełnia nasze oczekiwania, bardzo często wydruk wymagał będzie dodatkowej pracy.

Obszary w których niezbędne jest podjęcie obróbki manualnej modelu:

8.1. Usuwanie nitczek i niepożądanych nacieków filamentu z powierzchni wydruku

Dobranie właściwych parametrów temperaturowych i retrakcyjnych nie gwarantuje, że na powierzchni modelu nie pozostaną ślady niewielkich, spowodowanych grawitacją wycieków filamentu. Widoczne będą w postaci małych kropeczek, zastygłych kropelek lub cienkich nitczek. Wszystkie te niedoskonałości wpływają negatywnie na estetykę i funkcjonalność modelu, należy je usunąć, co w większości wypadków nie jest trudne przy użyciu prostych narzędzi modelarskich.

8.2. Usuwanie struktur podporowych

- **Mechaniczne** - Jeżeli wydruk zakładał użycie podpór pod mostami, należy je usunąć w toku wykańczania modelu. Poprawnie skonfigurowane w oprogramowaniu tnącym struktury podporowe będą na tyle stabilne aby podtrzymywać nawisy bądź mosty, ale przy tym na tyle delikatne, by można je było łatwo wyłamać i usunąć z powierzchni wydruku. Miejsce styku struktur podporowych z modelem (często wyczuwalnie chropowate) może wymagać nieznacznego oszlifowania.
- **Usuwanie rozpuszczalnych struktur podporowych** - jeżeli w drukowanym obiekcie zastosowane zostały podpory wydrukowane z materiału rozpuszczalnego w wodzie, np. PVA, to model należy zanurzyć całkowicie w ciepłej wodzie i wzrokowo kontrolować proces stopniowego znikania struktur podporowych. Kiedy ulegną rozpuszczeniu, należy model wyjąć z wody i osuszyć.

8.3. Usuwanie raftu/tratwy poprawiającej przyczepność modelu ze stołem roboczym

Jeżeli dany model posiada niewielką powierzchnię stykającą ze stołem roboczym i zasadne są obawy o trwałe przyleganie do niego w czasie wydruku, to stosowanie drukowanej pod modelem podstawki (raftu) często jest najlepszym rozwiązaniem. Podstawka ta musi zostać po zakończeniu wydruku ręcznie oderwana od spodniej powierzchni wydruku. Jeżeli powierzchnia styku modelu z raftem posiada wyczuwalne niedoskonałości, wymagać będzie precyzyjnego oczyszczenia i/lub oszlifowania.

8.4. Szlifowanie ostrych krawędzi modelu, aby poprawić ich wydajność lub lepiej wyeksponować niewielkie detale

Krańce generowanej przez drukarkę pojedynczej ścieżki są nieznacznie zaokrąglone, a wynika to z faktu iż otwór dyszy wylotowej jest okrągły. W związku z tym, drukując model o idealnie ostrej krawędzi bocznej, w rzeczywistości będzie ona lekko zaokrąglona. Aby osiągnąć zamierzony w projekcie efekt wyraźnie wyeksponowanej w wydruku i ostrej w dotyku krawędzi, należy poddać ją procesowi szlifowania np. za pomocą pilników modelarskich lub gąbek szlifierskich. Gradację wspomnianych narzędzi dobierać należy indywidualnie pod kątem odporności mechanicznej poszczególnych filamentów. PLA to materiał raczej delikatny, łatwo ulegający uszkodzeniom podczas obróbki mechanicznej, ale ABS czy ASA będą zdecydowanie bardziej przewidywalne i satysfakcjonujące przy procesie szlifowania.

8.5. Mechaniczne i manualne wygładzanie powierzchni modelu

Decydując się na wykonywanie wydruku z materiałów efektywnie poddających się szlifowaniu i obróbce mechanicznej, warto proces ten przeprowadzać i stosunkowo łatwo niwelować wszelkie niedoskonałości powierzchni.

- **Wygładzanie manualne** - materiały takie jak ASA i ABS z racji swojej struktury można, a wręcz należy wygładzać aby osiągnąć idealnie gładką i estetyczną powierzchnię modelu. Wskazane jest stosowanie wszelkich gąbek i pilników szlifierskich, zwłaszcza przeznaczonych tworzywom sztucznym.

- **Wyglądanie mechaniczne** - na rynku istnieją dedykowane wyglądzaniu i oczyszczaniu powierzchni niewielkich obiektów urządzenia, tzw. tumblerzy obrotowe. Umieszczając wewnątrz takiej obracającej się komory wydruk i materiał szlifujący (np. piasek), możemy w sposób zautomatyzowany zapewniać swoim projektom dużą gładkość i estetykę.

8.6. Chemiczne wyglądzanie powierzchni modelu

Właściwości chemiczne niektórych filamentów sprawiają, iż w stosunkowo łatwy sposób można nadać wydrukowanym z nich obiektom wysoką gładkość i połysk. Najpopularniejszymi z nich są ABS i ASA, ponieważ podatne są one na wytrawianie niedoskonałości powierzchni za pomocą oparów acetonu. Pomimo, iż proces nazywany jest kąpielą acetonową, to wydruk umieszczony w zamkniętej komorze znajduje się ponad powierzchnią acetonu, gdzie znajduje się w obszarze działania jego oparów. Prowadzi to do zanikania niedoskonałości powierzchni, a nawet zacierania widocznych granic pomiędzy warstwami wydruku. Modelu nigdy nie należy polewać czy zanurzać w płynnym acetonie. Potraktowane oparami wydruki z ASA nabierają również charakterystycznego, wręcz ceramicznego połysku, który może być atutem estetycznym.

Uwaga: Proces wyglądzania modelu za pomocą oparów acetonu wymaga wiedzy, doświadczenia i przygotowanych narzędzi. Jest on potencjalnie niebezpieczny z racji toksyczności i łatwopalności stężonych oparów niniejszej substancji. Pod żadnym pozorem nie należy stosować tej techniki bez uprzedniego przygotowania specjalnej komory oraz środków ochrony osobistej, takich jak rękawice czy maseczka.

8.7. Narzędzia ułatwiające manualną obróbkę wydruku

- **Pilniki** - zasadne będzie wyposażenie się w zestawy pilników modelarskich o różnych wielkościach i kształtach, zwłaszcza igłowych.
- **Cążki i szczypce** - nie są niezbędne, ale znacznie ułatwią np. usuwanie struktur podporowych czy raftu.

- **Gąbki szlifierskie i papiery ściernie** - będą to narzędzia niezbędne do mechanicznego wygładzania dużych płaskich powierzchni, czy usuwania nadmiernie uwidaczniającego się efektu błędnej retrakcji. Ich rozmiar i gradację należy każdorazowo dostosowywać pod kątem konkretnego wydruku i filamentu.

Dobra praktyka: Planując wykończenie większej ilości modeli, zasadne będzie wyposażenie się w elektryczną szlifierkę/multinarzędzie. Wymienne końcówki umożliwią przyspieszenie procesów szlifowania i wygładzania wydruków, a tarcze tnące pomogą np. nacinać modele i tworzyć w nich otwory przeoczone w procesie projektowania.

9. Identyfikacja niedoskonałości wydruku i ich przyczyny

Wydrukowany model posiadający widoczne niedoskonałości, stanowi również narzędzie diagnostyczne, które pozwala wykryć błędne ustawienia drukarki lub oprogramowania tnącego.

9.1. „Stopa słonia”

Jeżeli wokół pierwszej warstwy ukończonego wydruku zauważalne jest równomierne zgrubienie, tak jakby najniższa warstwa wydruku „rozlała się” ponad zakładany kształt, to najprawdopodobniej uwidocznili się niepożądany błąd druku potocznie nazywany „stopą słonia”, od ang. elephant’s foot.

Przyczynami występowania wspomnianego zjawiska są najczęściej dwa parametry:

- Zbyt nisko na osi Z opuszczona dysza drukarki - jeżeli podczas procesu kalibracji pierwszej warstwy lub poziomowania stołu **roboczego**, doprowadzimy do sytuacji w której dysza trwale opuszczona jest za nisko, to ścieżki filamentu wytłaczane z dyszy będą wręcz przez nią miażdżone. Ścisłana w ten sposób ścieżka filamentu odkształca się, jest bardziej płaska niż być powinna, a co za tym idzie wystaje poza zakładany obrys modelu. Jest to efekt uwidaczniający się przede wszystkim na pierwszej warstwie wydruku.
- Za wysoka wartość współczynnika ekstruzji podczas drukowania pierwszej warstwy - współczynnik ekstruzji, który standardowo oscyluje **wokół** parametru 1 (lub 100%), często zwiększany jest dla pierwszej warstwy, aby poprawić jej adhezję i estetykę. Nadmierne zwiększenie spowoduje jednak wytłaczanie zbyt dużej ilości filamentu, który zacznie rozlewać się na boki w niepożądany sposób poszerzając pojedynczą ścieżkę. Może się to uwidocznili w postaci efektu „stopy słonia”.

Dobra praktyka: Sposoby ograniczenia lub wyeliminowania efektu “stopy słonia”:

- Poprawne wypoziomowanie stołu roboczego drukarki i ustawienie jego dystansu względem osi Z - Upewnij się, że rutynowy proces kalibracji pierwszej warstwy i poziomowania stołu roboczego został przeprowadzony właściwie.
- Poprawna wartość współczynnika ekstruzji - upewnij się, że współczynnik ekstruzji nie jest zbyt wysoki dla danego materiału. Jeżeli przekracza np. 110%, spróbuj zredukować go do poziomu 105 lub 100% i oceń efekt.
- Parametr kompensacji “stopy słonia” - oprogramowanie tnące posiada często opcję, której użycie zwięża delikatnie obrys pierwszej warstwy wydruku. Włączenie jej, bardzo często pozwala wyeliminować niepożądany efekt. Możesz manipulować siłą wspomnianego zwiężenia podając jego wartość.

Fot. 1. Widoczny nienaturalnie rozlany i poszerzony obrys pierwszej warstwy wydruku - stopa słonia (elephant’s foot).



9.2. Niewielkie otwory/przerwy w ściankach wydrukowanych brył

Jeżeli po wydrukowaniu obiektu zawierającego pionowe ścianki, widoczne są w nich niewielkie szczeliny, mamy do czynienia z jednym z popularniejszych błędów.

Dobra praktyka: Aby wyeliminować błąd pojawiających się szczelin i otworów w pionowych ścianach wydruków zwróć uwagę na:

- **Prędkość druku obrysów zewnętrznych** - druk 3D w technologii FDM charakteryzuje się ścisłą zależnością pomiędzy precyzją a prędkością powstawania modelu. Ustawienie zbyt wysokiej prędkości odbija się negatywnie zwłaszcza na niewielkich detalach i zewnętrznych powierzchniach wydruku. Dlatego też poprawienie jakości ścian obiektu, każdorazowo rozpocznij od zmniejszenia prędkości druku obrysów zewnętrznych. Np. dla PLA przetestuj wartość 30 mm/s lub mniej. Wyraźna poprawa będzie oznaczała, że pierwotne ustawienia były zbyt wymagające dla danego filamentu.
- **Temperatura dyszy** - odpowiednia temperatura dyszy ma kluczowe znaczenie dla procesu sklejanie ze sobą kolejno nakładanych ścieżek filamentu. Jeżeli parametr ten jest zbyt niski, adhezja maleje, co prowadzi do pogarszania estetyki ścian wydruku, a w skrajnych przypadkach do ich rozwarstwiania i rozpadu. Dlatego też borykając się z niezadowalającą strukturą powierzchni bocznych, spróbuj zwiększyć temperaturę dyszy o 5 °C i ocenić efekt. Nieznaczna poprawa będzie oznaczała, że warto ponowić próbę z kolejnym podniesieniem o 5 °C. Zwiększając drastycznie prędkości druku, warto od razu podnieść temperaturę dyszy, ponieważ ułatwi to ekstruderowi sprawne wytłaczanie filamentu.
- **Współczynnik ekstruzji** - otwory i rozwarstwienia widoczne w pionowych powierzchniach mogą być oznaką zbyt niskiej wartości współczynnika ekstruzji. Jeżeli urządzenie nie podaje dostatecznej ilości filamentu w trakcie druku, dochodzi do rozrywania i powstawania przerw w pojedynczych ścieżkach. Zwiększ współczynnik ekstruzji np. o 2% i oceń efekt. Niewielka poprawa będzie oznaczać, że błąd został właściwie zdiagnozowany i należy zwiększyć wspomniany parametr przynajmniej raz jeszcze.

Fot. 2. Szczeliny w ścianie wydruku.



9.3. „Rozlane” i nieprecyzyjne kształty niewielkich fragmentów modelu

Detale znajdujące się w bryle drukowanego modelu, lub całe obiekty które są bardzo małe, składają się głównie z bardzo krótkich obrysów i drukowane są - a przynajmniej powinny być - za pomocą niskiej warstwy (np. 0,1 mm). Niestety efekty drukowania niewielkich obiektów są często rozczarowujące. Tworzenie małych i skomplikowanych kształtów stanowi dla drukarki wyzwanie i należy w tym urządzeniu pomóc za sprawą odpowiednich parametrów.

Dobra praktyka: Drukując obiekty bardzo małe i skomplikowane geometrycznie, zwiększ szanse powodzenia procesu poprzez:

- **Prędkość** - nie wahaj się korzystać z prędkości oscylujących nawet wokół 5 mm/s drukując drobne elementy. Zwiększy to drastycznie czas druku, ale pozwoli urządzeniu uzyskać wysoką precyzję pracy.
- **Wysokość warstwy** - nie przekraczaj parametru wysokości warstwy 0,1 mm, a jeżeli urządzenie na to pozwala, możesz stosować jeszcze niższe wysokości warstw.
- **Szerokość ekstruzji** - upewnij się, że stosujesz najniższą możliwą szerokość ścieżki. Dla dyszy o średnicy 0,4 mm, oprogramowanie tnące standardowo definiuje ją na poziomie 0,45 mm. Zmień szerokość

ścieżki/ekstruzji na 0,4 mm, a w wielu przypadkach możesz zastosować nawet wartości 0,39, czy 0,38 mm. Korzystanie z jeszcze mniejszych szerokości pojedynczej ścieżki będzie wymagało wymiany dyszy na taką z mniejszą średnicą.

- **Średnica dyszy wylotowej** - jeżeli powyższe zabiegi nie przyniosły zadowalających efektów, zasadna może być wymiana dyszy wylotowej drukarki. Standardowa dysza o średnicy 0,4 mm jest wystarczająca przy większości projektów, ale zmiana na dyszę o średnicy np. 0,3 mm pozwoli drukować obiekty stosując jeszcze mniejszą wysokość warstwy i mniejszą szerokość pojedynczej ścieżki.
- **Temperatura dyszy** - stosując się do powyższych porad, drukowanie detali przebiegać będzie ze zmniejszoną drastycznie prędkością, wysokością warstwy i szerokością ścieżki. Aby stosując te parametry efekt był maksymalnie dobry, obniżaj temperaturę dyszy dla tak skomplikowanych partii wydruku przynajmniej o 5 °C. Zwiększysz gęstość topionego filamentu i ułatwisz w ten sposób drukarce eksponowanie szczegółów. Przy materiałach charakteryzujących się dużą rozpiętością termiczną pracy, warto spróbować obniżyć temperaturę dyszy nawet o 10, czy 15 °C.

9.4. Wydruk pokryty jest niteczkami - błąd retrakcji

Jeżeli na powierzchni ukończonego wydruku występują małe niteczki, rozpostarte zwłaszcza pomiędzy oddalonymi od siebie kształtami, to należy zmierzyć się z błędem retrakcji.

Fot. 3. Widoczne na powierzchni wydruku nieregularne niteczki - błąd retrakcji filamentu.

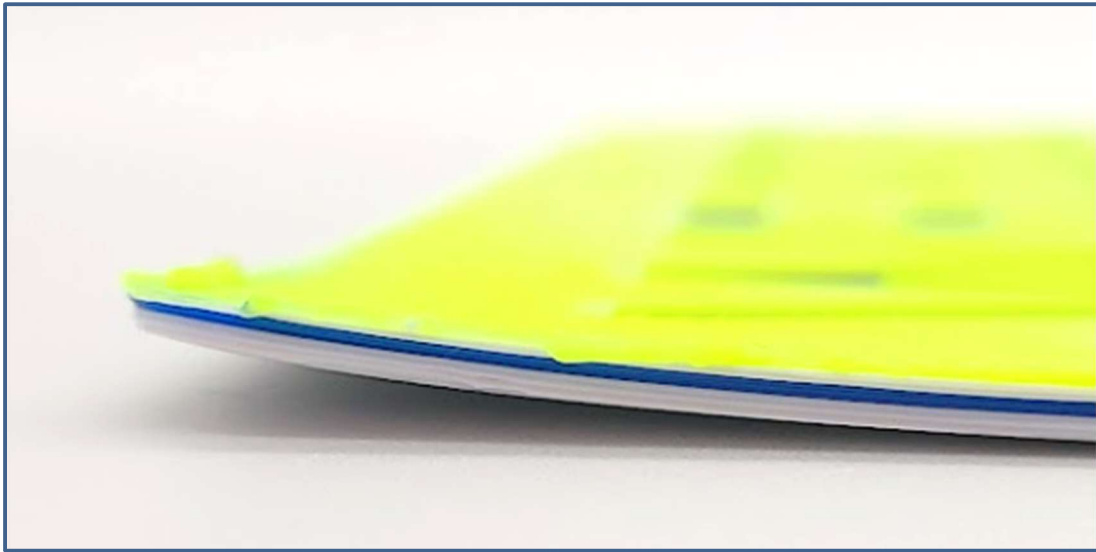


Kwestię dobrania odpowiednich parametrów retrakcji, które pomogą przeciwdziałać powyższemu błędowi, porusza rozdział 2.12 poradnika „Retrakcja filamentu”.

9.5. Podwinięte krawędzie wydruku

Niedostateczna adhezja pierwszej warstwy w połączeniu z nadmiernym skurczem materiału w trakcie druku, prowadzą najczęściej do podwijania się całych partii wydruku, psując jego estetykę i parametry wymiarowe, a w najgorszych przypadkach doprowadza to do oderwania od stołu roboczego całego obiektu i awaryjne przerwanie procesu.

Fot. 4. Podwinięty fragment wydruku.

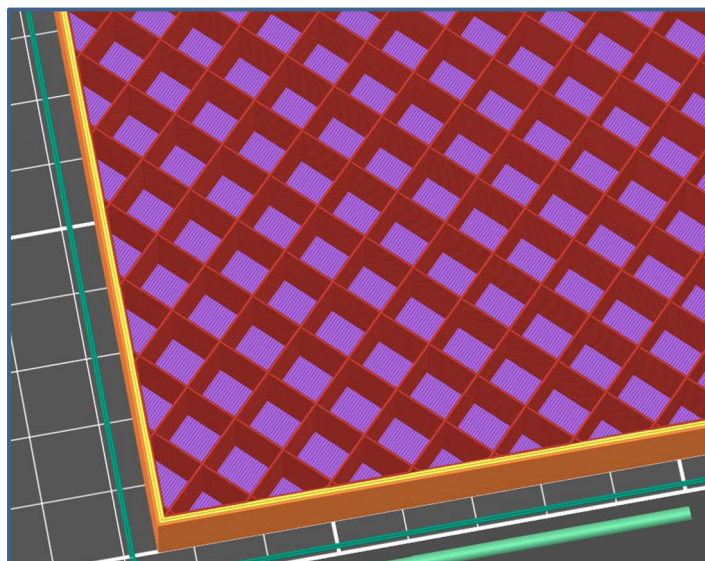


Rozwiązaniem problemu podwijających się partii obiektu, każdorazowo są działania z zakresu dbania o właściwą adhezję pierwszej warstwy oraz ograniczania skurczu materiału. Praktyczne porady w tej kwestii odnaleźć można w rozdziałach 2.9 („Chłodzenie wydruku...”) i 2.10 („Pierwsza warstwa...”).

9.6. Wybrzuszenia w górnej powierzchni płaskiej wydruku

Wnętrze wydruku, znajdujące się pomiędzy warstwami dolnego i górnego zwartego wypełnienia, składa się z rzadko ułożonych linii tworzących wewnętrzne wypełnienie modelu. Zostają w ten sposób zbudowane niewielkie puste przestrzenie i otwory, a gromadzące się w ich wnętrzu powietrze jest stale podgrzewane przez stół roboczy. Gorące powietrze w naturalny sposób unosi się, ale w momencie gdy budowana jest górna powierzchnia modelu, zostaje zamknięte we wspomnianych małych przestrzeniach, wciąż ulegając ogrzewaniu. Dochodzi więc do sytuacji, w której rozgrzane powietrze napiera na świeżo nadrukowaną wciąż lekko plastyczną płaszczyznę. W skrajnych przypadkach siła naporu jest na tyle duża, że prowadzi do odkształceń wydruku widocznych w postaci małych, ułożonych regularnie bąbli.

Fot. 5. Wewnętrzne wypełnienie modelu tworzące przestrzenie, w których gromadzi się gorące powietrze.



Fot. 6. Wybrzuszenia w postaci charakterystycznych „bąbli” na powierzchni wydruku.



Dobra praktyka: Sposoby ograniczania i eliminowania efektu bąbli niszczących górną powierzchnię modelu:

- Zwiększ gęstość wypełnienia modelu - standardowa gęstość wypełnienia modelu oscyluje wokół 15%. Zwiększając tę wartość, zmniejszysz wielkość pustych komór wewnątrz modelu, jednocześnie zmniejszając objętość nagrzewanego w nich powietrza i siłę jego naporu na górną powierzchnię modelu.
- Zwiększ ilość warstw zwartej górnej powłoki modelu - omawiany niepożądany efekt może zostać zniwelowany także poprzez pogrubienie zwartej górnej powłoki modelu. Zwiększ ilość zwartych warstw górnych, a wzmocnisz zadruk pustych komór powietrza. Nawet jeżeli napór rozgrzanego powietrza będzie znaczny, nie będzie to siła zdolna odkształcić tak pogrubioną płaszczyznę.
- Zmniejsz temperaturę stołu roboczego - być może drukując swój obiekt, nagrzewasz stół roboczy za mocno, bez potrzeby i prowadzi to do nadmiernego nagrzewania powietrza wewnątrz bryły. Zmniejsz temperaturę stołu roboczego powyżej pierwszej warstwy wydruku o 5 lub nawet 10 °C i oceń czy problem uległ zmniejszeniu.

9.7. Szczeliny pomiędzy ścieżkami w dolnej powierzchni wydruku

Jakkolwiek nieestetyczne są spody wydruków, w których niniejszy błąd zaistnieje, jego rozwiązanie jest dość proste. Problem występuje zwłaszcza w modelach posiadających dużą, płaską pierwszą warstwę (styczną z powierzchnią stołu roboczego).

Dobra praktyka: Aby wyeliminować widoczne w podstawie wydruku szczeliny pomiędzy ścieżkami, należy zwiększyć współczynnik ekstruzji o 5-10%. W większości wypadków rozwiąże to problem.

Uwaga: Nadmierne zwiększenie parametru współczynnika ekstruzji może doprowadzić do pojawienia się niepożądanych efektów w postaci „stopy słonia”.

Uwaga: Jeżeli zwiększysz współczynnik ekstruzji dla pierwszej warstwy wydruku, pamiętaj aby następnie spadł on do pierwotnego poziomu na kolejnych warstwach. Zbyt duży współczynnik ekstruzji odbije się negatywnie na estetyce całego wydruku.

9.8. Szczeliny pomiędzy ścieżkami w górnej powierzchni wydruku

Jeżeli w górnej powierzchni wydruku widoczne są wyraźne i występujące nieregularnie szczeliny, to mamy do czynienia z jednym z niepożądanych błędów.

Dobra praktyka: Chcąc wyeliminować nieestetyczny zadruk górnych warstw wydruku:

- **Upewnij się, że kalibracja drukarki i wypoziomowanie stołu roboczego zostały przeprowadzone poprawnie**, dla pewności powtórz te procedury ze wzmożoną starannością. Nieprecyzyjnie skalibrowane urządzenie może mieć tendencję do nierównego układania poziomych ścieżek, które powinny leżeć idealnie równolegle względem siebie.
- **Zweryfikuj ustawienie szerokości ścieżki zwartego wypełnienia górnego** - standardowo, dla dyszy 0,4 mm, powinna ona wynosić 0,4 mm. Im wartość ta będzie większa, tym mniej skomplikowane kształty uda się oprogramowaniu tnącemu estetycznie „zamalować”. Jeżeli drukujesz np. niewielkie litery, czy figury, które mają zostać precyzyjnie zadrukowane, możesz spróbować zmniejszyć szerokość ścieżki nawet poniżej 0,4 mm. Przetestuj sposób krycia powierzchni górnej obiektów jaki zaproponuje slicer dla ustawiając szerokość ścieżki zwartego wypełnienia górnego równą 0,39 mm, 0,38 mm, itd.
- **Zmniejsz prędkość druku** - prawdopodobne jest, że górna powierzchnia modeli wygląda niezadowolająco, ponieważ ustawienia prędkości są zbyt wysokie, co odbija się na precyzji druku. Zmniejsz parametr prędkości

najwyższych warstw wydruku, dla PLA i jego odpowiedników spróbuj zastosować wartości oscylujące wokół 25 mm/s.

- **Temperatura druku** - jeżeli powyższe zabiegi nie rozwiązały problemu, zwróć swoją uwagę na ustawienia temperatury. Wytłaczany podczas pokrywania górnych warstw filament może być zbyt gęsty lub zbyt płynny aby precyzyjnie wypełniać szczeliny o skomplikowanych kształtach. Przeprowadź testowe wydruki zwiększając skokowo temperaturę dyszy (o 5 °C). Jeżeli uzyskany efekt będzie gorszy od wyjściowego, przeprowadź podobny, ale odwrotny test zmniejszając każdorazowo temperaturę o 5 °C.
- **Współczynnik ekstruzji** - krycie skomplikowanych geometrycznie kształtów może być niezadowalające również z powodu błędnych wartości współczynnika ekstruzji. Jeżeli stosujesz np. standardowe 95% (0,95), spróbuj zwiększyć wartość współczynnika ekstruzji do poziomu 100%. Bezpieczne będzie wypróbowanie wartości nawet nieznacznie wyższych, np. 103%. Silniej „rozlewające się” na boki ścieżki, będą szczelniej wypełniać luki górnych powierzchni.

Fot. 7. Nieprecyzyjny zadruk górnych powierzchni modelu.



10. Bezpieczeństwo

Powszechnie dostępne drukarki 3D FDM to w przeważającej mierze urządzenia bezpieczne i możliwe do używania w warunkach domowych, bez potrzeby tworzenia dla nich specjalnej przestrzeni o charakterze przemysłowym. Nie zmienia to jednak faktu, że użytkowane w sposób niewłaściwy mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia użytkownika lub być potencjalnie niebezpieczne dla otoczenia.

10.1. Elementy gorące

Pracująca drukarka 3D posiada dwa podzespoły, które w przypadku konstrukcji otwartych nie są osłonięte, a mogą być rozgrzane do bardzo wysokich temperatur. Ich bezpośredni kontakt z ciałem będzie skutkował poparzeniem. Dysza wylotowa w trakcie wytłaczania filamentu, w zależności od jego rodzaju, osiąga temperatury zbliżone nawet do 300°C, należy więc bezwzględnie chronić dłonie przed jej dotknięciem. Zważając na fakt, że ruchy dyszy osadzonej na wózku mogą być szybkie i dość nieprzewidywalne, należy stosować zasadę trzymania dłoni z dala od całego obszaru roboczego drukarki w trakcie jej pracy.

W większości popularnych konstrukcji, rozgrzaniu ulega również powierzchnia stołu roboczego. Drukując z materiałów takich jak nylon, temperatura ta może przekraczać 100°C i dotknięcie stołu będzie skutkowało poparzeniem. Wzmacnia to więc powyższą zasadę, aby bezwzględnie nie naruszać fizycznie przestrzeni roboczej urządzenia, zanim nie zakończy się wydruk.

Występowanie w drukarce podzespołów rozgrzewanych do bardzo wysokich temperatur sprawia, że niezwykle ważne jest również ścisłe przestrzeganie zasad przeciwpożarowych.

Dobra praktyka: Upewnij się, że drukarka 3D nie znajduje się w bezpośrednim otoczeniu obiektów łatwopalnych, a w jej pobliżu posiadasz środek gaśniczy, który pozwoli szybko zdławić ewentualny ogień.

10.2. Opary filamentów i substancji wykorzystywanych w procesie konserwacji urządzenia

Topiony w wysokiej temperaturze w trakcie druku filament może generować opary, które oprócz intensywnego i nieprzyjemnego zapachu, mogą być szkodliwe dla zdrowia.

Dobra praktyka: Rozpoczynając korzystanie z nowego i nieznanego ci jeszcze materiału, oprócz zapoznania się z parametrami jego pracy, sprawdź czy producent nie ostrzega przed potencjalnie niebezpiecznymi oparami wydzielanymi w trakcie druku. Jeżeli takie ostrzeżenie istnieje, zapewnij odpowiednią wentylację pomieszczenia w którym znajduje się drukarka.

Dobra praktyka: Nawet jeżeli producent nie ostrzega przed szkodliwymi oparami, zadбай odpowiednią wentylację pomieszczenia w którym pracuje drukarka. Również w przypadku filamentów popularnych i potencjalnie nieszkodliwych, takich jak PLA, nagromadzenie oparów w trakcie wielogodzinnego wydruku, będzie niezwykle niekomfortowe i z pewnością niewskazane.

Eksploatując drukarkę 3D wykonywać należy szereg czynności, które pozwalają utrzymać jej poprawne funkcjonowanie. Niektóre z nich, takiej jak czyszczenie stołu roboczego, wymagają stosowania substancji wydzielających potencjalnie szkodliwe opary. Przykładowo, powierzchnia stołu roboczego, na którym drukowany był ABS ulega zanieczyszczeniu, do którego usunięcia doskonale nadaje się stężony aceton techniczny. Należy jednak pamiętać, że wdychanie jego oparów jest szkodliwe. Przemywanie powierzchni stołu roboczego za pomocą alkoholu izopropylowego również generuje intensywne opary.

Dobra praktyka: Dokonując czynności konserwacyjnych drukarki, przy których korzystasz z substancji generujących intensywne i szkodliwe opary, zadbaj o odpowiednią wentylację pomieszczenia oraz o niezbędne środki bezpieczeństwa. Używaj maseczki chroniącej przed oparami i rękawiczek zabezpieczających skórę dłoni. Zważaj również na to, aby substancje te nie dostały się do oczu.

10.3. Stabilność podstawy

Drukarka 3D w trakcie swojej pracy porusza w sposób energiczny wózek z osadzoną na nim m.in. dyszą, wentylatorem i blokiem grzejnym. W przypadku konstrukcji z ekstruderem typu direct, na wspomnianym wózku znajdował się będzie jeszcze sam ekstruder z silniczkiem. Jest to konkretna masa, która dynamicznie i rytmicznie poruszana generuje wyczuwalne wibracje. Dlatego też podłoże na którym spoczywa drukarka powinno ten fakt uwzględnić.

Dobra praktyka: Starannie przygotuj podłoże, na którym ustawisz drukarkę. Zadbaj o to, aby było ono płaskie, nie śliskie i maksymalnie stabilne. Obiekt na którym spoczywa drukarka powinien mieć sztywną konstrukcję i nie przenosić drgań urządzenia, nie wpadając tym samym w wibracje.

Część II. Standardy do tworzenia tyfloplanów i modeli w technologii druku 3D dla studentów Uniwersytetu Warszawskiego

Sławomir Rzepecki

Podane rozwiązania zostały dobrane i przetestowane podczas realizacji projektu „Uniwersytet dla wszystkich – Level up” polegającego na utworzeniu Laboratorium map i modeli dotykowych służącemu zastosowaniu technologii druku 3D we wspieraniu edukacji, samodzielności i niezależności osób niewidomych. Rozwiązania te zostały zastosowane w zrealizowanych projektach, tyfloplanach, makietach i różnych modelach 3D oraz były zweryfikowane przez osoby niewidome. Stanowią one propozycję do utworzenia standardu prezentowania informacji dla osób niewidomych na planach, mapach i innych modelach tworzonych w technologii druku 3D. Jest to próba ujednoczenia stosowanych rozwiązań, oraz opracowania rozwiązań o jak najlepszej czytelności dla odczytu dotykiem przez osoby niewidome o różnym stopniu biegłości posługiwania się grafiką dotykową.

Wprowadzenie

Współczesne społeczeństwa opierają się na fundamentach praw człowieka oraz zasadach praworządności, co obliguje państwo do traktowania każdej osoby jako podmiotu praw, a także do zapewnienia wszystkim obywatelom możliwości pełnego i aktywnego uczestnictwa we wszystkich sferach życia społecznego. Obejmuje to między innymi dostęp do edukacji, kultury, opieki zdrowotnej, niezawisłego wymiaru sprawiedliwości, możliwości zatrudnienia oraz samorealizacji.

Jednocześnie, istotne jest wyeliminowanie wszelkich form nieuczciwego lub niesprawiedliwego traktowania jednostek lub grup ludzi ze względu na ich płeć, wiek, pochodzenie etniczne, orientację seksualną, niepełnosprawność, wyznanie religijne, bądź status społeczno-ekonomiczny. W tym aspekcie fundamentalne znaczenie ma tworzenie uniwersalnych rozwiązań, które są dostępne i możliwe do wykorzystania przez możliwie szerokie spektrum osób na równych zasadach¹.

Projektowanie uniwersalne, szczególnie w kontekście zapewniania dostępności dla osób szczególnie narażonych na różnorodne bariery, w tym osób z niepełnosprawnościami oraz osób z innymi szczególnymi potrzebami, stanowi jedno z kluczowych narzędzi w procesie budowania inkluzywnych rozwiązań.

Koncepcja projektowania uniwersalnego, znana również jako Universal Design, odgrywa istotną rolę w promowaniu równego dostępu do dóbr i usług dla wszystkich użytkowników, z uwzględnieniem specyficznych potrzeb osób, których możliwości funkcjonowania są w jakimś zakresie ograniczone.

Koncepcja projektowania uniwersalnego (z ang. Universal Design) przyczynia się do promowania równego, a tym samym sprawiedliwego dla wszystkich, dostępu

¹ Art. 2 Ustawy z dnia 19 lipca 2019 r. o zapewnianiu dostępności osobom ze szczególnymi potrzebami (Dz. U. 2019 poz. 1696)

do dóbr i usług, z uwzględnieniem potrzeb tych użytkowników, których funkcjonowanie jest w pewnym aspekcie ograniczone.

Zgodnie z definicją zawartą w art. 2 „Konwencji o prawach osób niepełnosprawnych” poprzez projektowanie uniwersalne należy rozumieć projektowanie produktów, środowiska, programów i usług w taki sposób, by były użyteczne dla wszystkich w możliwie największym stopniu, bez potrzeby adaptacji lub specjalistycznego projektowania.

Projektowanie uniwersalne jest strategicznym podejściem do planowania i projektowania zarówno produktów, jak i odpowiedniego otoczenia, mających na celu promowanie społeczeństwa włączającego wszystkich obywateli oraz zapewniającego im pełną równość oraz możliwość uczestnictwa w życiu społecznym.

Grupą szczególnie narażoną na bariery w dostępności są osoby niewidome i słabowidzące. Ważną rolę w zapewnieniu dostępności dla tej grupy osób pełnią nowoczesne technologie związane z cyfrową postacią informacji, a także rozwiązania służące prezentowaniu informacji w sposób przeznaczony do odczytywania dotykaniem: grafiki dotykowej i informacji w systemie Braille’a.

Ustawa z dnia 19 lipca 2019 r. o zapewnianiu dostępności osobom ze szczególnymi potrzebami (Dz. U. 2019 poz. 1696) w art. 6. określa minimalne wymagania służące zapewnieniu dostępności osobom ze szczególnymi potrzebami, które muszą być zapewnione przez podmioty publiczne. Jednym z wymogów w zakresie dostępności cyfrowej jest „zapewnienie informacji na temat rozkładu pomieszczeń w budynku, co najmniej w sposób wizualny i dotykowy lub głosowy”. Wymóg ten ma na celu zwiększenie niezależności osób niewidomych w samodzielnym poruszaniu się.

Dotykowa prezentacja informacji na temat rozkładu pomieszczeń w szczególności odnosi się do wszelkiego rodzaju tyfloplanów. Aby jednak zaczęły one pełnić praktyczną rolę narzędzia wspomagającego osoby niewidome ważne jest ich powszechne stosowanie oraz możliwa unifikacja. Technologia druku 3D może sprzyjać powszechności tworzenia takich narzędzi. Zastosowanie jednolitych oznaczeń w oparciu o określone zasady jest istotnym warunkiem dla ich przydatności dla docelowych użytkowników.

Niniejsze opracowanie powstało w wyniku realizacji projektu „Uniwersytet dla wszystkich – Level up”. W ramach projektu w dziale adaptacji BON UW utworzono

pracownię druku 3D pod nazwą „Laboratorium map i modeli dotykowych”. Celem pracowni było praktyczne zbadanie możliwości technologii druku 3D do wspierania wspieraniu edukacji, samodzielności i niezależności osób niewidomych. W tym celu, w ramach projektu przeprowadzono badania możliwości zastosowania technologii druku 3D w tworzeniu planów i map dotykowych służących nauce orientacji przestrzennej i wykorzystania modeli przestrzennych w edukacji osób niewidomych². Przedmiotem badań były różne aspekty modeli 3D: określenie potrzeb i oczekiwań osób niewidomych w zakresie modeli 3D, ocenę doświadczeń i umiejętności korzystania z takich pomocy, weryfikację proponowanych rozwiązań oraz ocenę tworzonych modeli.

Proponowane rozwiązania zostały oparte o wieloletnie doświadczenie działu adaptacji BON UW w tworzeniu adaptacji pomocy dydaktycznych, w szczególności w zakresie tworzenia grafiki dotykowej. Starano się stosować rozwiązania i konwencje wypracowane przez tyflogologów, a także obowiązujące normy i wymogi.

Wypracowane rozwiązania zostały zebrane w niniejszym opracowaniu i stanowią one propozycję do utworzenia standardu prezentowania informacji dla osób niewidomych na planach, mapach i innych modelach tworzonych w technologii druku 3D. Jest to próba ujednoczenia stosowanych rozwiązań, oraz opracowania rozwiązań o jak najlepszej czytelności dla odczytu dotykiem przez osoby niewidome o różnym stopniu biegłości posługiwania się grafiką dotykową.

Rozwiązania te stosowane są obecnie w różnych projektach realizowanych przez pracownię druku 3D na Uniwersytecie Warszawskim co przyczyni się do dalszego ich rozwijania i pogłębionej weryfikacji.

² Szczegółowy opis badań został przedstawiony w odrębnym raporcie Albin. K. (2023).

Propozycje oznaczeń dotykowych

Zakres opracowania

W opracowaniu niniejszych propozycji uwzględnione zostały wymogi określone w następujących dokumentach:

- Norma ISO 21542:2011 Building construction – Accessibility and usability of the built environment. Norma określa m.in. sposób tworzenia i umieszczania tabliczek z informacją dotykową, tworzenia czytelnych napisów i informacji wizualnej.
- „Włącznik – projektowanie bez barier”, Kamil Kowalski, fundacja Integracja we współpracy ze Skanska³. Poradnik zawiera polskojęzyczne opracowanie rozwiązań z zakresu dostępności przestrzeni publicznych i miejsc pracy, w tym prezentuje informacje podane w normie ISO 21542:2011
- Budowlane abc – Standardy projektowania budynków dla osób z niepełnosprawnościami. Poradnik opublikowany na stronach Ministerstwa Rozwoju i Technologii⁴ zawiera m.in. wytyczne dotyczące umieszczania planów tyflograficznych w budynkach i innych rozwiązań ułatwiających orientację w budynku i przekazywanie informacji.

³ Publikacja dostępna pod adresem: <https://integracja.org/wp-content/uploads/2023/06/Wlacznik-projektowanie-bez-barier-2018.pdf> [dostęp: 2023.11.25]

⁴ Poradnik opublikowany na stronie: <https://budowlaneabc.gov.pl/standardy-projektowania-budynkow-dla-osob-niepelnosprawnych/> [dostęp: 2023.11.25]

- Norma ISO 19028:2016 Accessible design – Information contents, figuration and display methods of tactile guide maps. Norma określająca sposób prezentowania informacji na planach i mapach w sposób dotykowy o układzie budynków i przestrzeni.
- Opracowanie „Projektowanie dostępne. Metody budowania tyflomap dla osób z niepełnosprawnościami” pod kierownictwem dr inż. Jacka Lamperskiego⁵. Standard został wykonany na podstawie normy BS ISO 19028:2016. Określa zasady konstruowania tyflomap (map dotykowych) – ich treści, kształtu, a także rodzaju dostępnych oznakowań.
- Zasady tworzenia i adaptowania grafiki dla uczniów niewidomych (2011), opracowane przez nauczycieli Specjalnych Ośrodków Szkolno-Wychowawczych dla Niewidomych i Słabowidzących w Polsce⁶.

Wskazówki i wytyczne zawarte w ww. dokumentach należy stosować obligatoryjnie podczas tworzenia i projektowania informacji dotykowych.

⁵ Opracowanie dostępne pod adresem:
<https://www.zasobynauki.pl/zasoby/projektowanie-dostepne-metody-budowania-tyflomap-dla-osob-z-niepelnosprawnosciami,51731/> [dostęp: 2024.1125]

⁶ Link: <https://www.ore.edu.pl/2012/02/ujednolicone-zasady-adaptacji-i-notacji-brajlowskiej/> [dostęp 09.03.2023].

Definicje

Czytanie dotykowe przez osobę niewidomą to oglądanie palcami przedmiotu lub wypukłego rysunku przedmiotu. Postrzeganie dotykowe, w tym korzystanie z wypukłych grafik u osób niewidomych rozwija się w miarę systematycznego treningu i nabywania doświadczeń. Umiejętności czytania dotykowego osoby niewidome muszą się więc nauczyć, a grafika dotykowa stanowi rodzaj języka, używanego do przedstawiania informacji.

Faktura dotykowa to gęste rozmieszczenie jednakowych, drobnych detali wypukłych. Musi składać się ze znaków tak małych i ułożonych tak gęsto, że dotyk nie czyta znaków, lecz zauważa „inność” obszaru. W ten sposób można oznaczyć obszary, które na grafice płaskiej oznaczane są różnymi kolorami.

Grafika dotykowa, **tyflografika** – grafika użyteczna dla osoby niewidomej i/lub słabowidzącej, wykonana w dostępnej konwencji i zredagowana w sposób umożliwiający i ułatwiający odczytanie dotykiem i/lub słabym wzrokiem, a przede wszystkim w sposób umożliwiający zrozumienie przekazywanej informacji grafiką (Więckowska 2009). Tyflografika to zatem graficzne odwzorowanie i przedstawienie rzeczywistości, przy zastosowaniu skali, proporcji i generalizacji, w sposób dostępny dotykowo osobom niewidomym. Marek Jakubowski (2009)

Osoby niewidome to te osoby, które w rozmaitych obszarach życia, takich jak poznawanie świata, edukacja, praca, korzystanie z kultury, rozrywki, orientacja w terenie itd.: „posługują się technikami alternatywnymi – bezwzrokowymi (dotykowo-słuchowymi) lub dotykowo-słuchowo-wzrokowymi i nie korzystają z pisma czarnodrukowego. (Kuczyńska-Kwapisz 2017).

Osoby słabowidzące to te osoby, które korzystają z technik wzrokowych lub wzrokowo-słuchowo-dotykowych, a ich zdolność widzenia umożliwia czytanie tekstów czarnodrukowych (choćby konieczne było zastosowanie dużego powiększenia). (Kuczyńska-Kwapisz 2017).

Orientacja przestrzenna – to sprawność jednostki w zakresie poznawania swego otoczenia, zachodzących w nim relacji przestrzennych i czasowych oraz

określania własnego położenia w stosunku do otaczających przedmiotów. Zasadniczą rolę odgrywają tu procesy poznawcze, wykorzystywanie posiadanych zmysłów, zasób pojęć, znajomość schematu ciała, wyobraźnia przestrzenna, wiedza o otoczeniu, operowanie relacjami odległości i czasu itp. (Kuczyńska-Kwapisz i Kwapisz 1990)

Pismo czarnodrukowe – zapis zwykły, najczęściej utrwalany w postaci czarnobiałego wydruku na papierze.

Pola uwagi – to wypukłe znaki poziome składające się z wypukłych punktów, tzw. guzków tworzące znak ostrzegawczy przed zagrożeniem. Parametry tych znaków oraz zasady ich umieszczania określone są m.in. w normie ISO 21542:2011. Pola uwagi należy stosować m.in. do ostrzeżenia przed krawędziami peronów, przystanków, przejść dla pieszych, gwałtownych zmianach nachylenia terenu, a także w budynkach m.in. na początku i końcu każdego biegu schodów.

Punkty orientacyjne – to znane, stałe przedmioty lub łatwo rozpoznawalne przez osoby niewidome wrażenia dotykowe i/lub dźwiękowe, które ułatwiają orientację w przestrzeni.

System Braille’a, **alfabet brajla** – alfabet umożliwiający zapisywanie i odczytywanie tekstów osobom niewidomym. Alfabet stworzony został przez Louisa Braille’a w 1825 roku. System składa się ze znaków będących kombinacją sześciu wypukłych punktów ułożonych w dwóch kolumnach po trzy punkty w każdej. Pierwsze 25 znaków oraz znak „w” są w ogólności takie same w różnych językach. Podobnie, z pewnymi wyjątkami dotyczy to znaków przestankowych i pomocniczych. Pozostałe znaki mogą mieć różne znaczenie w różnych językach lub notacjach. Punkty oraz znaki tworzące system Braille’a mają ściśle określone parametry: rozmiar, wysokość, rozstaw punktów i znaków. W Polsce obowiązuje standard znaków brajlowskich Marburg Medium.

Ścieżki prowadzące, **ścieżki dotykowe** – to wypukłe znaki poziome, które mogą bezpiecznie przeprowadzić osobę z niepełnosprawnością wzroku pomiędzy określonymi miejscami. Składają się z równoległych linii o parametrach szczegółowo określonych w normie ISO 21542:2011. Ścieżki prowadzące należy stosować m.in. w celu łatwego doprowadzenia do wejścia do budynku, przejść dla

pieszych, oraz doprowadzenia do miejsc ważnych dla osób niewidomych (wind, planów tyflograficznych, miejsc udzielenia informacji, itp.).

Tyflografika – odwzorowanie rzeczywistości użyteczne dla osoby niewidomej lub/i słabowidzącej, wykonane w dostępnej mu konwencji i skali, zredagowane w sposób umożliwiający i ułatwiający odczytanie dotykiem lub/i słabym wzrokiem przekazywanej grafiką informacji⁷.

Tyflomapa, **tyfloplan**, **mapa tyflograficzna**, **mapa dotykowa**, **plan tyflograficzny**, **plan dotykowy** – mapa lub plan opracowany do czytania za pomocą zmysłu dotyku lub w ograniczonym stopniu (częściowo) wzrokiem, przeznaczony dla osób niewidomych lub słabowidzących.

Tyflomakieta – rodzaj makiety 3D przygotowanej dla osób niewidomych i słabowidzących w celu prezentacji informacji w sposób dotykowy służących prezentacji położenia obiektów, czy układu przestrzennego danego miejsca. Do prezentacji informacji mogą być zastosowane specjalne symbole 3D, wypukłe faktury i inne elementy zaprojektowane w celu łatwej i intuicyjnej identyfikacji za pomocą zmysłu dotyku. Tyflomakiety dopuszczają stosowanie uproszczeń i zmian w stosunku do prezentowanego układu przestrzennego w zakresie uzasadnionym zapewnieniem ich dotykowej czytelności.

⁷ Za: Więckowska Z. (2011)

Kompozycja tyflomapy

Tyflomapa powinna posiadać powtarzalną kompozycję, z określoną hierarchią informacji, prezentowanych w uporządkowanej kolejności.

1. **Tytuł tyflomapy** – zawierający podstawową informację (nazwę własną) o prezentowanej zawartości należy umieścić w pierwszej linii, wyrównany do lewej lub umieszczony centralnie.
2. **Komentarz**, czyli dodatkowe informacje wyjaśniające np. o sposobie prezentacji, np. widok z przodu, przekrój itp. oraz ogólne informacje o prezentowanej przestrzeni. Komentarz można pominąć, jeśli kontekst planu jest jednoznaczny. Komentarz można także umieścić w sposób odrębny, np. za pomocą łącza do treści on-line. Łącze może mieć postać kodu QR lub znacznika NFC. Informacja o zastosowaniu danego rozwiązania musi być przedstawiona wprost, wraz z oznaczeniem miejsca umieszczenia znacznika w sposób dotykowy i wizualny.
3. **Skala** powinna być umieszczona w bezpośredniej bliskości tytułu jeśli jej podanie ułatwi ocenienie rozmiarów i odległości. Sposób prezentacji skali powinien być zgodny z powszechnie stosowanymi rozwiązaniami.
4. **Znacznik kierunków**, w postaci róży kierunków lub co najmniej strzałki północy umieszczony zawsze, w celu ułatwienia orientacji mapy z kierunkami rzeczywistymi.
5. **Legenda** zawierająca objaśnienie użytych oznaczeń graficznych i tekstowych. Legendę należy umieścić obok lub przed grafiką, której dotyczy. Legendę można pominąć tylko, jeśli tyflomapa nie posiada żadnych skrótów w systemie Braille'a ani oznaczeń graficznych.
6. Wyznaczony **obszar tyflomapy** poprzez obramowanie lub inny rodzaj wydzielenia ułatwiający dotykowe określenie granic tyflomapy.
7. Tyflomapy, które mają być prezentowane w postaci trwałej instalacji muszą posiadać **oznaczenie miejsca lokalizacji** osoby czytającej tzw. „jesteś tutaj”. Oznaczenie musi być czytelne i łatwe do odnalezienia zarówno dotykiem jak i wizualnie. Np. stożek, o wysokości powyżej otaczających go elementów, w kolorze czerwonym.

Zasady tworzenia treści informacyjnych

1. Każdy tyfloplan musi być mocno zgeneralizowany. Plan powinien składać się z elementów służących jego celowi czyli najczęściej treści nawigacyjnej służącej wsparciu orientacji i samodzielnemu przemieszczaniu się osób niewidomych i słabowidzących.
2. Tworząc tyflomapę w pierwszej kolejności należy się kierować czytelnością dla odczytu dotykaniem. W drugiej kolejności należy zwrócić uwagę na czytelność wizualną.
3. Ilość prezentowanych informacji należy ograniczyć do minimum, które realizuje jej cel. Obszar tyflomapy musi być optymalnie dobrany dla czytelnej prezentacji informacji – oznacza to dążenie do jak najmniejszych rozmiarów zachowujących odległości niezbędne dla wygodnego odczytu dotykaniem. Zbyt duża ilość informacji, nadmiernie duży prezentowany obszar lub nadmierne zagęszczenie informacji wpływa na ograniczenie czytelności tyflomapy i jej użyteczności.
4. Wybierając informacje do pokazania na planie w pierwszej kolejności należy wybierać te elementy, które osoba niewidoma może odnaleźć poruszając się samodzielnie, w szczególności:
 - elementy identyfikowane bezpośrednio: np. zmiana nachylenia, szorstkości i innych cech odczuwalnych pod stopami,
 - elementy identyfikowane z użyciem laski: np. przeszkody, stopnie, krawędzie, zieleń,
 - elementy identyfikowane słuchem: ruch ulicy, sygnały dźwiękowe np. sygnalizatorów drogowych, fasady budynków oraz przejścia bramowe (punktowe przerwy w fasadach budynków),
 - elementy dostępne do poruszania się po nich np. chodniki, ulice, ścieżki (bez miejsc np. odgrodzonych, znajdujących się za murem, siatką itp.).

5. Elementy planu mogą być, w miarę potrzeby, opisane skrótami nazw prezentowanych obiektów lub ich części. Podpisywanie elementów prezentacji graficznej skrótami wymaga opracowania konsekwentnego systemu, a najlepiej używania powszechnie stosowanych oznaczeń. Zastosowanie jednolitego systemu budowania skrótów ułatwia czytelnikowi odniesienie treści skrótu do obiektu właściwej kategorii.
6. W legendzie należy umieścić wyjaśnienia wszystkich zastosowanych skrótów, linii i faktur. Wyjaśnienia należy umieścić w sposób ułatwiający ich odnalezienie, np. wyjaśnienia skrótów można pogrupować w kategorie w kolejności alfabetycznej.
7. Wszystkie napisy, opisy oraz skróty zapisane w systemie Braille'a muszą być zgodne z parametrami standardu Marburg Medium. Zapisów brajlowskich nie można zmniejszać, powiększać, ani w inny sposób zmieniać.
8. Napisy w systemie Braille'a muszą być umieszczane w jednej orientacji (poziomo) w sposób wygodny do odczytu dotykiem.
9. Oznaczenia lub podpisy brajlowskie umieszczane obok dotykowych oznaczeń graficznych (symboli, linii lub faktur dotykowych) muszą być od nich odsunięte o 3-5 mm.
10. Na tyflomapie należy zapewnić prezentację informacji do odczytu w sposób dotykowy oraz do odczytu w sposób wizualny (odpowiedni dla osób słabowidzących).
11. Informacja wizualna może być używana przez osoby wspomagające się wzrokiem, dlatego należy stosować rozwiązania czytelne dla osób słabowidzących, w szczególności:
 - a) stosowanie czcionki prostej, szeryfowej, o stałej szerokości znaków,
 - b) stosowanie wielkości czcionki o wielkości powiększonej zbliżonej do wysokości znaku brajlowskiego,

- c) stosowanie koloru kontrastowego do koloru tła (o współczynniku kontrastu co najmniej 4,5:1)⁸.
12. Na tyflomapach należy stosować tę samą fakturę i te same oznaczenia dla tych samych elementów.
13. Należy stosować rozwiązania zgodnie z obowiązującymi standardami, stosowanymi powszechnie oznaczeniami, konwencjami, notacjami itp.
14. Do oznaczania i rozróżniania powierzchni można stosować faktury dotykowe złożone z drobnych elementów, z zachowaniem właściwości:
- a) drobne elementy powinny być od siebie oddalone poniżej 5 mm (zalecane 2,4 mm) – elementy oddalone od siebie co najmniej o 5 mm identyfikowane są jako oddzielne,
 - b) faktury dotykowe zastosowane na planie muszą być rozróżnialne dotykowo – nie wystarczy zastosowanie różnorodnych elementów tworzących fakturę, faktury MUSZĄ dawać inne wrażenia dotykowe.
15. Do stosowania rozróżnialnych linii dotykowych należy stosować rozwiązania jak dla faktur dotykowych.
16. Strzałki określające kierunek powinny posiadać grot w postaci pustego trójkąta lub utworzony przez ramiona trójkąta umieszczone pod kątem prostym.
17. Tyfloplany, które nie są osadzone na podstawie, lub których położenie może być ustawiane powinny mieć oznaczony prawy górny róg poprzez umieszczenie w nim niewielkiego, wypukłego trójkąta.

⁸ Wytyczne WCAG2.1, kryterium 1.4.3 – Minimalny kontrast (poziom AA). Współczynnik kontrastu można z łatwością zmierzyć pobierając lub wprowadzając wartości kolorów tekstu i tła do narzędzi typu Colour Contrast Analyser, link: <https://www.tpgi.com/color-contrast-checker/> [dostęp: 2023-11-25].

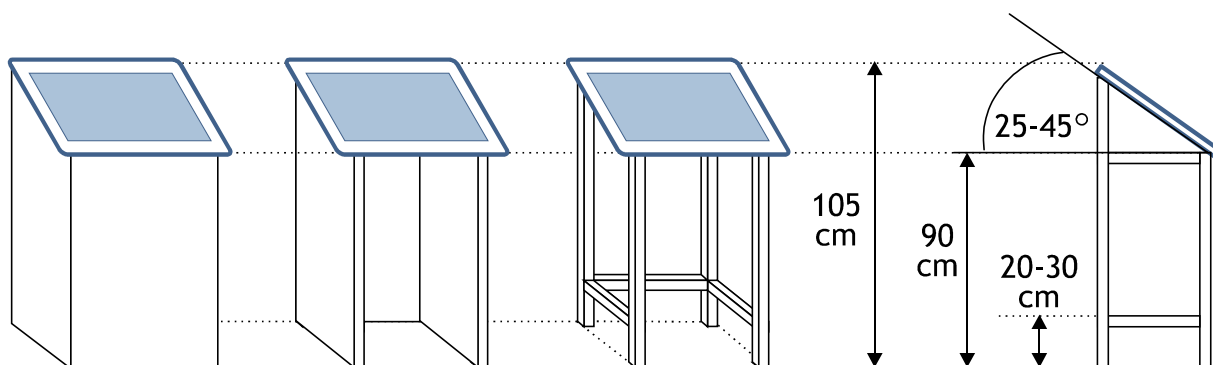
Wymiary i prezentacja tyflomap

1. Rozmiar tyfloplanu musi być uzasadniony ilością prezentowanych informacji, ich wzajemnego rozmieszczenia oraz wielkością prezentowanego obszaru. Należy dążyć do rozmiaru, który w sposób optymalny łączy wszystkie te cechy.
2. Plany i mapy o dużych formatach, nie powinny przekraczać rozpiętości ramion, oraz wyciągnięcie przed siebie osoby znajdującej się przed planem. Oznacza to maksymalną szerokość ok. 140 cm, oraz maksymalną głębokość (odpowiadającą wysięgowi ramion w pozycji pochylonej) 70 cm. Maksymalny obszar makiet przeznaczonych do oglądania ze wszystkich stron wynosi 140 x 140 cm⁹.
3. Plany powinny być umieszczane wewnątrz obiektu zaraz po wejściu do niego i powinny odzwierciedlać przestrzeń danej kondygnacji (lub wybrany jej fragment) oraz najistotniejsze jej elementy. W sytuacjach, gdy położenie planu może być trudne do zlokalizowania przez osobę niewidomą do planów tyflograficznych powinny prowadzić ścieżki dotykowe.
4. Plany tyflograficzne (dotykowe) można udostępniać w postaci stałej instalacji w odpowiednio dobranych miejscach w budynkach lub w postaci lekkich planów dotykowych (np. wytłoczonych w tekturze) udostępnianych osobom niewidomym z możliwością ich zabrania i zapoznania się z nimi w dogodnych dla siebie warunkach.
5. Miejsce położenia instalacji z planem tyflograficznym należy skonsultować ze specjalistami. Nie może on stanowić przeszkody w ciągach komunikacyjnych, oraz zagrożenia w sytuacji ewakuacji. Wybrane miejsce musi zapewniać możliwość bezpiecznego, komfortowego i swobodnego zapoznania się z planem przez osobę niewidomą w wymaganym przez nią czasie.

⁹ Kłopotowska A., Kłopotowski M. (2018a), s.161

6. Plany tyflograficzne powinny być umieszczane w budynku według jednolitych zasad, np. każdy tyfloplan prezentujący układ pomieszczeń na danym piętrze powinien być instalowany w tym samym miejscu na odpowiednich piętrach i w tym samym kierunku. Wszystkie tyfloplany muszą posiadać ujednolicone oznaczenia, wielkość skali i kierunek.
7. Niedopuszczalne jest umieszczanie na jednym tyfloplanie informacji nakładających się np. dotyczących położonych nad sobą pięter. W takiej sytuacji informacje nakładające się należy rozdzielić prezentując je na oddzielnych tyfloplanach.
8. Plan tyflograficzny może być posadowiony na postumencie. Postument musi umożliwiać określenie obszaru planu za pomocą laski osoby niewidomej. W tym celu:
 - a) postument może mieć postać zamkniętą na szerokość tyfloplanu,
 - b) postawa może mieć postać otwartą, lub częściowo otwartą z nogami umieszczonymi w skrajnych rogach planu; po bokach oraz z tyłu postumentu należy umieścić poziome elementy ostrzegawcze na wysokości 20–30 cm.
9. Dozwolone jest by obszar planu wykaczał poza obszar wyznaczony przez postument do 10 cm.
10. Zalecanym sposobem prezentacji planów tyflograficznych jest ich instalacja na blacie umieszczonym pod kątem 30–45° względem poziomu, którego przednia krawędź znajduje się na wysokości 90 cm.

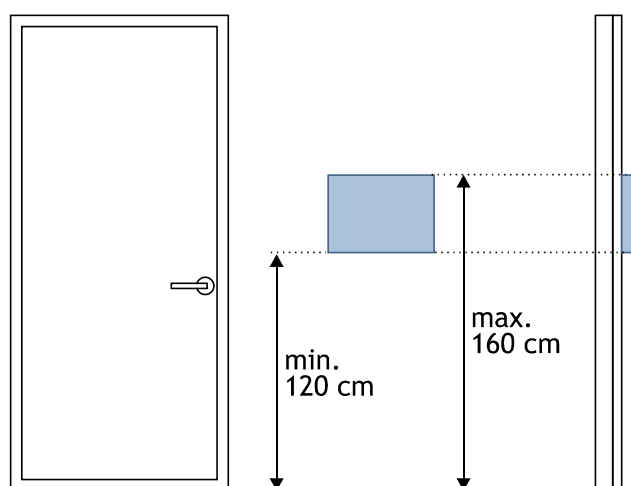
Rys. 1. Sposób prezentacji tyfloplanu na blacie umieszczonym pod kątem 30–45 st. względem poziomu, oraz trzy rodzaje postumentu wyznaczającego obszar tyfloplanu: postument zamknięty, postument półotwarty bez ograniczenia „na wprost”, postument ograniczony do elementów pionowych rozmieszczonych w rogach planu, oraz z dodatkowymi poziomymi elementami ostrzegawczymi. Źródło: opracowanie własne.



11. Dopuszczalnym sposobem prezentacji planów jest ich umieszczenie na ścianie¹⁰. Informacje dotykowe prezentowane na planie powinny znajdować się na wysokości pomiędzy 120 cm a 160 cm.

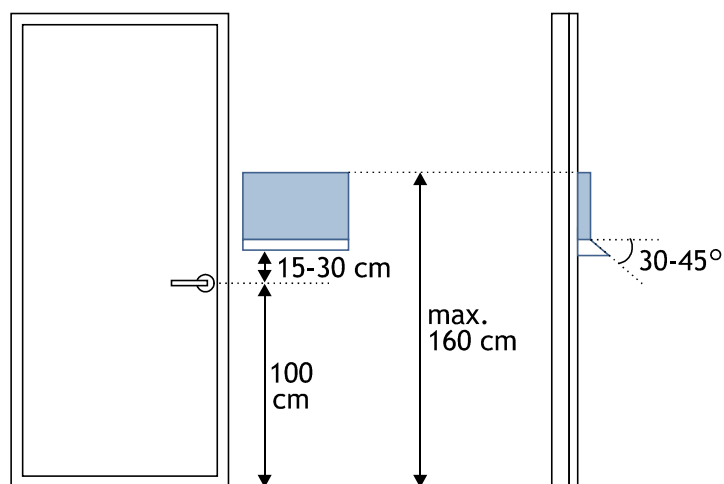
¹⁰ Polski Związek Niewidomych (2016)

Rys. 2. Dopuszczalnym sposobem prezentacji tyfloplanu jest jego umieszczenie na ścianie. Wysokość umieszczenia tyfloplanu określa dopuszczalny obszar dotykowego odczytu informacji umieszczonej pionowo. Ten sposób odczytu informacji jest niewygodny dlatego obszar i zakres prezentowanych informacji powinien być ograniczony.



12. Niewielkie plany, np. informujące o układzie toalety wraz z wyposażeniem należy umieszczać na ścianie, przy wejściu, po stronie otwierania drzwi na wysokości 15–30 cm powyżej uchwyty otwierającego (górną krawędź tabliczki) i nie wyżej niż 160 cm od podłoża. W dolnej części tabliczki zaleca się zastosowanie niewielkiej półeczki odchylonej od pionu o 30 do 45 stopni, na której umieszczony zostanie opis w systemie Braille’a.

Rys. 3. Niewielkie plany, np. informujące o układzie toalety wraz z wyposażeniem należy umieszczać na ścianie przy wejściu, po stronie otwierania drzwi na wysokości 15–30 cm powyżej uchwytu otwierającego.



13. Tyflomakiety i modele należy prezentować na poziomym blacie umieszczonym na postumencie. Górny poziom blatu powinien być na wysokości 80-100 cm, w zależności od wysokości płaszczyzny ekspozycji. Zalecaną wysokość płaszczyzny (z tolerancją +/-2 cm) można określić za pomocą tabeli 1 ¹¹.
14. Postumenty tyflomakiety, o szerokości większej niż 90 cm powinny umożliwić podjazd wózkiem na wprost na głębokość min. 30 cm, z zapewnieniem wysokości pod blatem min. 70 cm.
15. W przypadku wysokich modeli (makiety) ich dopuszczalna wysokość w zależności od wymiarów poziomych i pionowych płaszczyzny ekspozycji może być określona za pomocą tabeli 2 ¹².

¹¹ Źródło tabeli: Kłopotowska A., Kłopotowski M. (2018a), s. 156

¹² Źródło tabeli: Kłopotowska A., Kłopotowski M. (2018a), s. 162

16. Obszar modeli czy tyfloplanów nie może przekraczać zasięgu ramion odbiorcy. Oznacza to maksymalną szerokość ok. 140 cm, oraz maksymalną głębokość (odpowiadającą wysięgowi ramion w pozycji pochylonej) 70 cm.
17. Maksymalny obszar makiet przeznaczonych do oglądania ze wszystkich stron wynosi 140 x 140 cm.

Tabela 1. Zalecana maksymalna wysokość płaszczyzny ekspozycji modelu w zależności od wymiarów poziomych blatu (szerokości – kolumny i głębokości – wiersze). Źródło: opracowanie własne na podstawie Kłopotowska A., Kłopotowski M. (2018a).

	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140
50	100	99	98	97	95	94	93	92	91	90	89	88	87	86	84	83	82	81	80
55	99	99	98	97	95	94	93	92	91	90	89	88	87	86	84	83	82	81	80
60	98	98	98	97	95	94	93	92	91	90	89	88	87	86	84	83	82	81	80
65	97	97	97	97	95	94	93	92	91	90	89	88	87	86	84	83	82	81	80
70	95	95	95	95	95	94	93	92	91	90	89	88	87	86	84	83	82	81	80
75	94	94	94	94	94	94	93	92	91	90	89	88	87	86	84	83	82	81	80
80	93	93	93	93	93	93	93	92	91	90	89	88	87	86	84	83	82	81	80
85	92	92	92	92	92	92	92	92	91	90	89	88	87	86	84	83	82	81	80
90	91	91	91	91	91	91	91	91	91	90	89	88	87	86	84	83	82	81	80
95	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	89	88	87	86	84	83	82	81	80
100	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	88	87	86	84	83	82	81	80
105	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	87	86	84	83	82	81	80
110	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	86	84	83	82	81	80
115	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	84	83	82	81	80
120	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	83	82	81	80
125	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	82	81	80
130	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	81	80
135	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	80
140	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80

Tabela 2. Dopuszczalna wysokość modelu w zależności od wymiarów poziomych i pionowych płaszczyzny ekspozycji. W pierwszym wierszu podano szerokości płaszczyzny ekspozycji, w pierwszej kolumnie podano wysokości płaszczyzny ekspozycji. Obszar (a) – blaty niemożliwe do wykonania (wymagane podcięcie umożliwiające podjazd wózkiem inwalidzkim jest powyżej teoretycznego poziomu blatu). Obszar (b) – obszar poza zasięgiem ramion odbiorcy. Źródło: opracowanie własne na podstawie Kłopotowska A., Kłopotowski M. (2018a).

	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	
60	80	78	77	76	75	74	73	72	71	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
62	78	76	75	74	73	72	71	70	69	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
64	76	74	73	72	71	70	69	68	67	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
66	74	72	71	70	69	68	67	66	65	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
68	72	70	69	68	67	66	65	64	63	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
70	70	68	67	66	65	64	63	62	61	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
72	68	66	65	64	63	62	61	60	59	58	56	55	50	49	48	47	46	45	44	44
74	66	64	63	62	61	60	59	58	57	56	54	53	52	51	50	49	48	47	46	46
76	64	62	61	60	59	58	57	56	55	54	52	51	50	49	48	47	46	45	44	44
78	62	60	59	58	57	56	55	54	53	52	50	49	48	47	46	45	44	43	42	42
80	60	58	57	56	55	54	53	52	51	50	48	47	46	45	44	43	42	41	40	40
81	59	57	56	55	54	53	52	51	50	49	47	46	45	44	43	42	41	40	b	b
82	58	56	55	54	53	52	51	50	49	48	46	45	44	43	42	41	40	b	b	b
83	57	55	54	53	52	51	50	49	48	47	45	44	43	42	41	40	b	b	b	b
84	56	54	53	52	51	50	49	48	47	46	44	43	42	41	40	b	b	b	b	b
85	55	53	52	51	50	49	48	47	46	45	43	42	41	40	b	b	b	b	b	b
86	54	52	51	50	49	48	47	46	45	44	42	41	40	39	b	b	b	b	b	b
87	53	51	50	49	48	47	46	45	44	43	41	40	39	b	b	b	b	b	b	b
88	52	50	49	48	47	46	45	44	43	42	40	39	b	b	b	b	b	b	b	b
89	51	49	48	47	46	45	44	43	42	41	39	b	b	b	b	b	b	b	b	b
90	50	48	47	46	45	44	43	42	41	40	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
91	49	47	46	45	44	43	42	41	40	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
92	48	46	45	44	43	42	41	40	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
93	47	45	44	43	42	41	40	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
94	46	44	43	42	41	40	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
95	45	43	42	41	40	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
96	44	42	41	40	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
97	43	41	40	39	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
98	42	40	39	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
99	41	39	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
100	40	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b

Proponowane przykłady oznaczeń

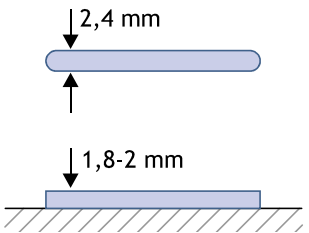
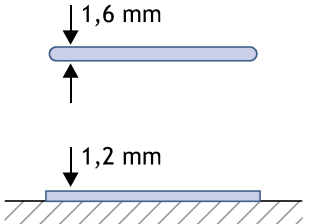
Część 1. Oznaczenia do stosowania na tyfloplanach prezentujących układ pomieszczeń

W tabeli zastosowano oznaczenia:

W: szerokość (ang. width),

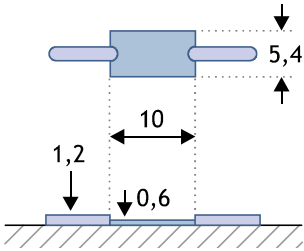
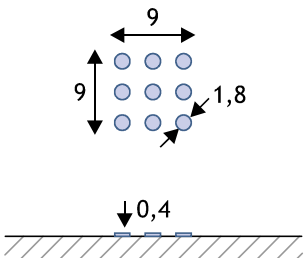
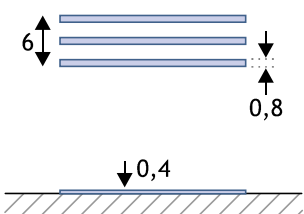
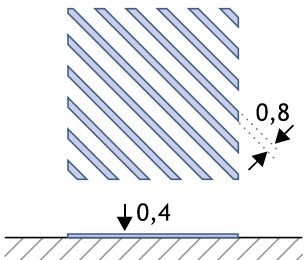
H: wysokość (ang. height),

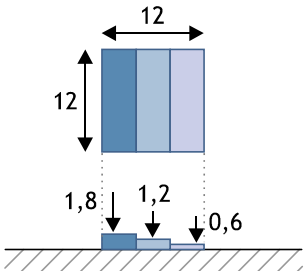
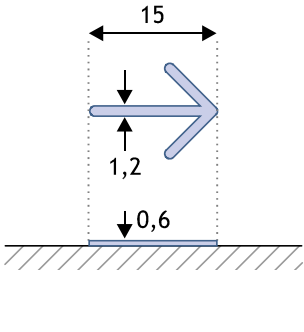
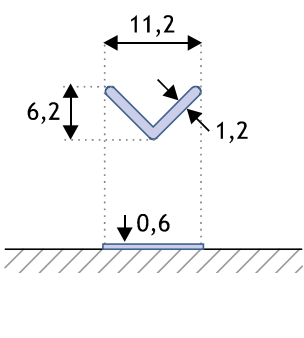
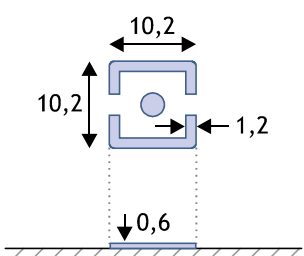
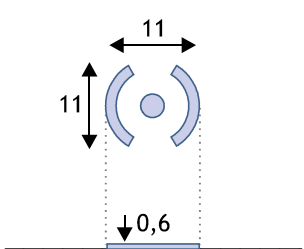
T: grubość (ang. thickness).

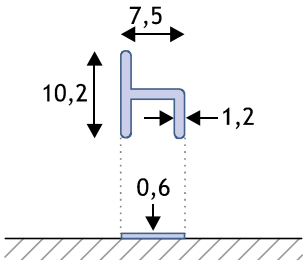
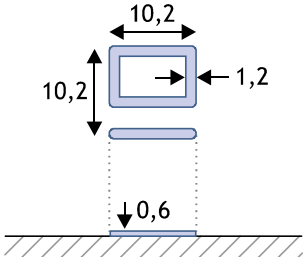
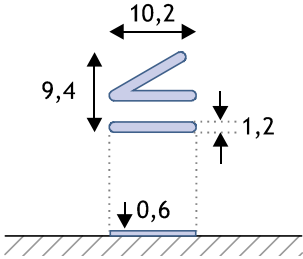
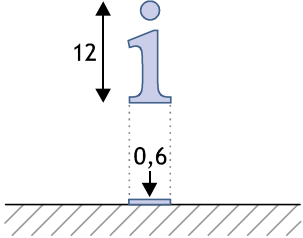
nazwa / przeznaczenie	opis	wymiary / parametry	rysunek / przykład
ściana zewnętrzna, obrys planu	linia, nieco wyższa niż pozostałe elementy na planie ¹³	W: 2,4 mm T: 1,8-2 mm	
ściana wewnętrzna	linia	W: 1,6 mm T: 1,2 mm	

¹³ Linia nie powinna być zbyt wysoka, aby nie utrudniać oglądanie dotykiem elementów znajdujących się w jej pobliżu; najwyższym elementem planu powinno być oznaczenie „tu jesteś” w postaci wysokiego stożka lub walca – dzięki temu możliwe będzie szybkie odnalezienie symbolu poprzez przesunięcie dłoni po elementach planu.

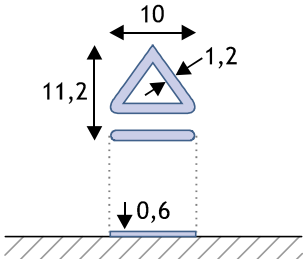
nazwa / przeznaczenie	opis	wymiary / parametry	rysunek / przykład
przejście z drzwiami, otwierane jedno skrzydło	przerwa między ścianami z niższą linią na końcu przylegającą pod kątem 45° oznaczającą drzwi, zgodnie z kierunkiem otwierania	szerokość przejścia 10 mm, szerokość ozn. drzwi 1,2 mm, grubość ozn. drzwi 0,6 mm	
przejście z drzwiami, otwierane dwa skrzydła	przerwa między ścianami z niższymi liniami na końcach przylegającymi pod kątem 45° (ozn. drzwi), zgodnie z kierunkiem otwierania	szerokość przejścia 10 mm, szerokość ozn. drzwi 1,2 mm, grubość ozn. drzwi 0,6 mm	
przejście z drzwiami rozsuwanymi	szerokość przejścia 10 mm, każde skrzydło ozn. niższą linią w połowie otwarte	szerokość przejścia 10 mm, szerokość ozn. drzwi 1,2 mm, grubość ozn. drzwi 0,6 mm	

nazwa / przeznaczenie	opis	wymiary / parametry	rysunek / przykład
lada, miejsce obsługi	prostokąt o długości 10 mm, i szerokości 5,4 mm umieszczony między krańcami ścian, obniżony do 0,6 mm	prostokąt 10 x 5,4 mm, T: 0,6 mm	
pole uwagi	3 x 3 punkty rozłożone równomiernie w kwadrat 9 x 9 mm	3 x 3 punkty o średnicy 1,8 mm, rozłożone równomiernie w kwadrat 9 x 9 mm, T: 0,4 mm	
linie prowadzące	3 równoległe linie tworzące pas wzdłuż linii prowadzącej o szer. 6 mm, o szer. 0,8 mm,	3 równoległe linie o szerokości 0,8 mm, w odległości 1,8 mm od siebie. T: 0,4 mm	
obszar wyłączony	równoległe linie pod kątem 45°	linie o szerokości 0,8 mm w odległości 1,8 mm od siebie, T: 0,4 mm	

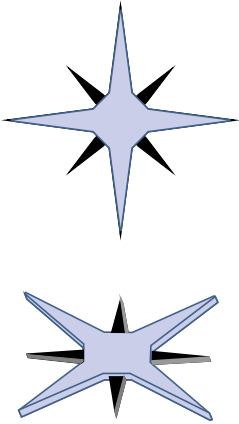
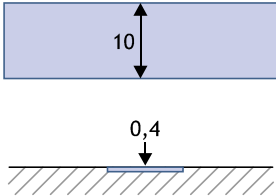
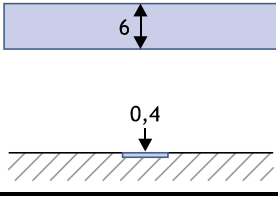
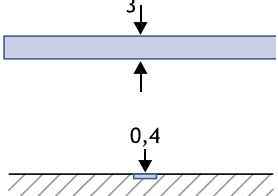
nazwa / przeznaczenie	opis	wymiary / parametry	rysunek / przykład
schody	trzy stopnie wychodzące z poziomu piętra	trzy stopnie o wymiarach 4 x 12 mm i wysokościach 0,6 mm, 1,2 mm, 1,8 mm	
strzałka kierunku	pozioma linia z otwartym grotem o ramionach dług. 8,2 mm umieszczonych pod kątem prostym	W: 1,2 mm H: 15 mm T: 0,6 mm	
wejście (do budynku, biura itp.)	grot strzałki o ramionach dług. 8,2 mm umieszczonych pod kątem prostym skierowanym w stronę wejścia	szerokość linii grotu 1,2 mm, długość symbolu 11,2 mm, T: 0,6 mm	
domofon, przycisk otwierania drzwi	kwadrat z przerwami bokami i okrągłym punktem w środku	W: 10,2 mm H: 10,2 mm T: 0,6 mm	
znacznik dźwiękowy	dwa półokręgi rozchodzące się poziomo od centralnego umieszczonego punktu	średnica znaku: 11 mm T: 0,6 mm	

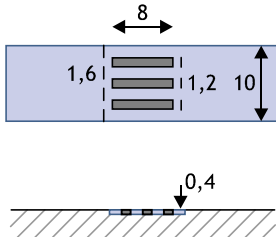
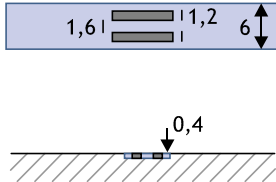
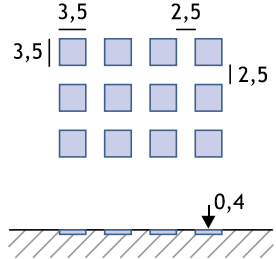
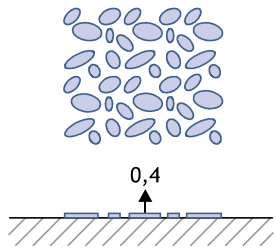
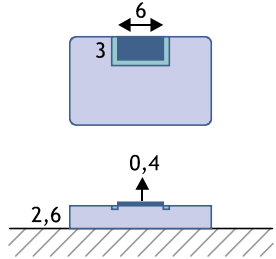
nazwa / przeznaczenie	opis	wymiary / parametry	rysunek / przykład
poczekalnia	rzut prostopadły krzesła z oparciem	W: 7,5 mm H: 10,2 mm T: 0,6 mm	
stanowisko komputerowe	prostokąt i pozioma kreska poniżej (symboliczny ekran i klawiatura)	W: 10,2 mm H: 10,2 mm T: 0,6 mm	
punkt ksero	dwie poziome linie, oraz linia pod kątem 30° połączona z końcem górnej linii tworząca symboliczną uchyloną pokrywę szyby skanera	W: 10,2 mm H: 9,4 mm T: 0,6 mm	
punkt informacyjny ¹⁴	drukowana mała litera "i"	H: 12 mm T: 0,6 mm	

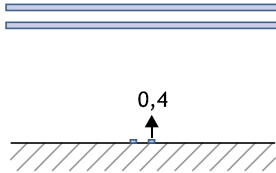
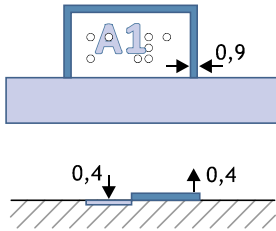
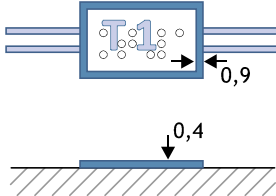
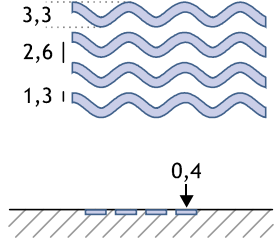
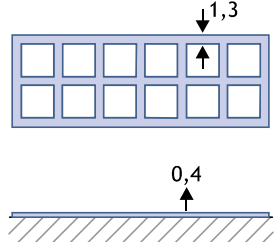
¹⁴ Zastosowany symbol dotykowy odpowiada powszechnie stosowanemu oznaczeniu wizualnemu – mimo, że nie jest on optymalny do odczytania dotykaniem jego znajomość może być pomocna w większej niezależności i samodzielności osób niewidomych.

nazwa / przeznaczenie	opis	wymiary / parametry	rysunek / przykład
podnośnik	trójkąt wierzchołkiem skierowany ku górze z poziomą linią poniżej podstawy	W: 10 mm H: 11,2 mm T: 0,6 mm	

Część 2. Oznaczenia do stosowania na tyfloplanach prezentujących układ budynków

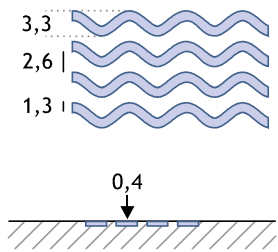
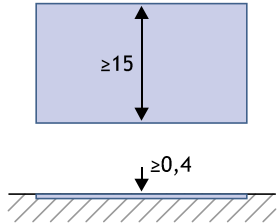
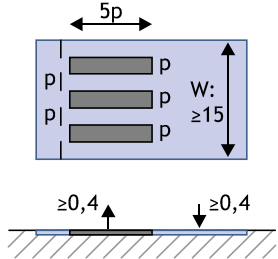
nazwa / przeznaczenie	opis	rysunek / przykład
róża kierunków z oznaczeniami kierunków głównych oraz kierunków pośrednich	strzałki kierunków głównych o grubości: 1 mm; strzałki kierunków pośrednich o grubości: 0,5 mm	
droga główna	szerokość: 10 mm grubość: –0,4 mm	
droga wewnętrzna	szerokość: 6 mm grubość: –0,4 mm	
ścieżka/chodnik	szerokość: 3 mm grubość: –0,4 mm	

nazwa / przeznaczenie	opis	rysunek / przykład
droga główna z przejściem	szerokość: 10 mm, przejście: 3 x pasy o szerokości 1,2 mm w odległości 1,6 mm	
droga wewnętrzna z przejściem	szerokość: 6 mm, przejście: 2 x pasy o szer. 1,2 mm w odl. 1,6 mm	
parking, obszar z przeszkodami	wkłuste kwadraty 3,5 x 3,5 mm w odległości co 2,5 mm grubość: -0,4 mm	
teren zielony	nieregularny układ elips o sumie promieni 1-4 mm grubość: -0,4 mm	
budynek z oznaczonym wejściem	kształt zgodnie z obrysem budynku o zaokrąglonych rogach, $r = 1$ mm wysokość: 2,6-3 mm, znacznik wejścia: 6 x 3 mm, grubość: 0,4 mm, na budynku możliwe jest umieszczenie oznaczeń (etykiet/symboli)	

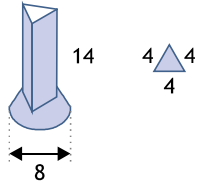
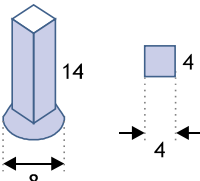
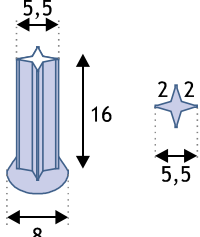
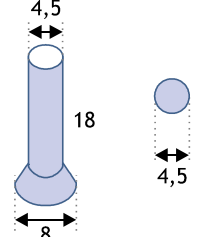
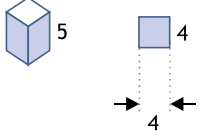
nazwa / przeznaczenie	opis	rysunek / przykład
tory tramwajowe	dwa pasy o szerokości: 0,9 mm w odległości 1,6 mm grubość: 0,4 mm	
przystanek obok drogi	obramowanie równoległe do drogi o kształcie litery „C”, z ozn. przystanku wewnątrz szerokość krawędzi: 0,9 mm grubość: 0,4 mm	
tory tramwajowe z przystankiem	prostokąt z ozn. przystanku wewnątrz nałożony na oznaczenie torów, szerokość krawędzi: 0,9 mm grubość: 0,4 mm	
rzeka, zbiornik wodny	poziome pasy o kształcie fali, szer. linii: 1,3 mm w odl.: 2,6 mm, szer. pasa fali: 3,3 mm grubość: -0,4 mm	
chodnik, deptak	wypukłe linie o szer.: 1,3 mm tworzące kwadratowe wnęki o wym. 4,3 x 4,3 mm grubość: -0,4 mm	

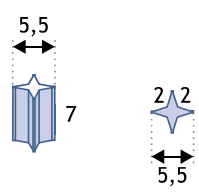
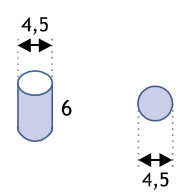
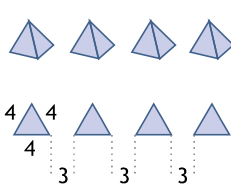
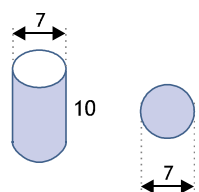
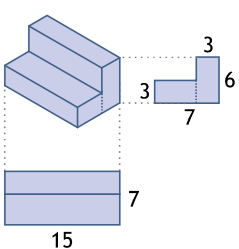
Część 3. Oznaczenia powierzchni do stosowania na makietach i mapach 3D

nazwa / przeznaczenie	opis	rysunek / przykład
chodnik, deptak	wypukłe linie o szer.: 1,3 mm tworzące kwadratowe wnęki o wym. 4,3 x 4,3 mm, grubość: 0,4 mm	
zieleń, trawnik	nieregularny układ elips o sumie promieni 1-4 mm, grubość: 0,4 mm	
bruk, wypukła kostka	wypukłe kwadraty 3,5 x 3,5 mm w odległości od siebie o 2,5 mm, grubość: 0,4 mm	
pole/obszar uwagi	punkty o średnicy 1,8 mm, rozłożone równomiernie co 1,8 mm, grubość: 0,4 mm	
linie prowadzące	trzy równoległe linie o szerokości 0,8 mm w odległości 1,8 mm od siebie, grubość: 0,4 mm	

nazwa / przeznaczenie	opis	rysunek / przykład
rzeka, zbiornik wodny	poziome pasy o kształcie fali, szer. linii: 1,3 mm w odległości od siebie: 2,6 mm, szer. pasa fali: 3,3, grubość: $\geq 0,4$ mm	
ulica	obszar gładki lub oznaczony brukiem, obniżony o 0,4 mm lub więcej, o szerokości min. 15 mm	
ulica z przejściem	na obszarze ulicy co najmniej trzy wypukłe pasy o grubości 0,4 mm lub więcej, każdy pas o wymiarach $p \times 5p$, w odległości od siebie o p , gdzie: $p \approx W / (2n + 1)$ oraz n oznacza ilość pasów	

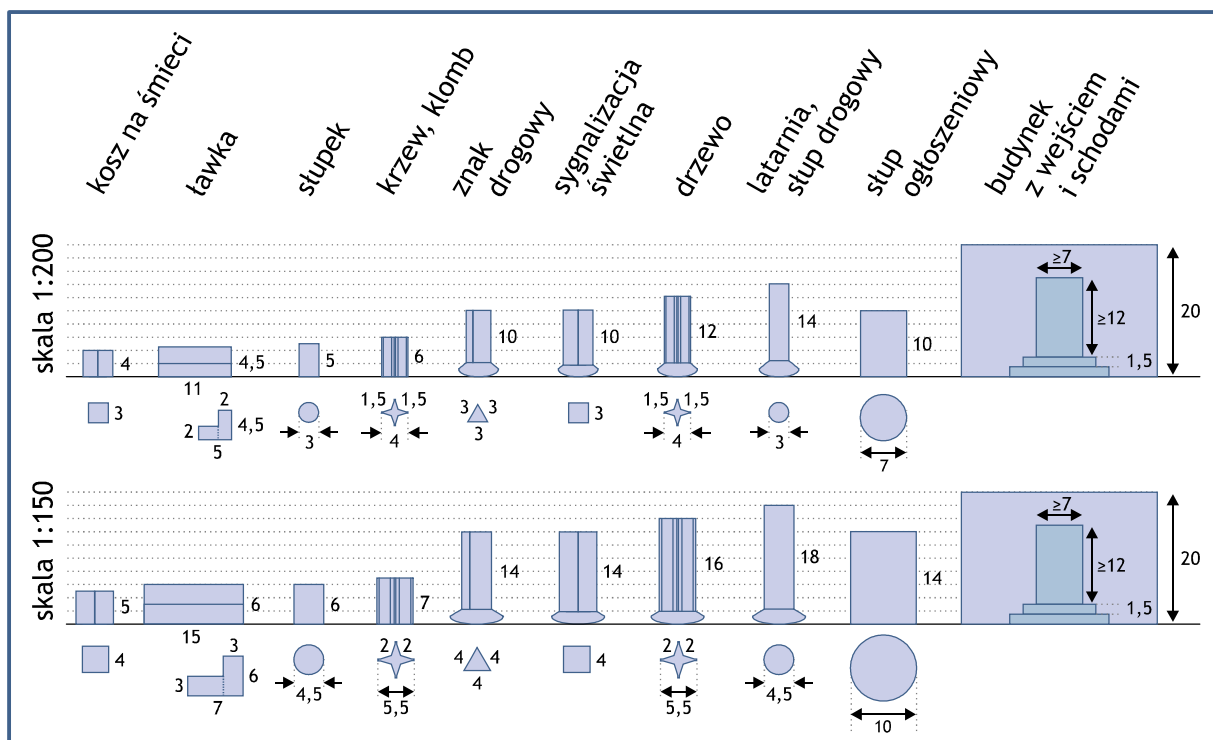
Część 4. Oznaczenia obiektów do stosowania na makietach i mapach 3D w skali 1:150.

nazwa / przeznaczenie	opis (skala 1:150)	rysunek / przykład
znak drogowy	graniastosłup o wys. 15 mm i podst. trójkąta równobocznego o boku 4 mm, dodana podstawa stożkowa o średnicy 8 mm	
sygnalizacja świetlna	prostokątoscian o wys. 14 mm i podstawie kwadratu o boku 4 mm, dodana podstawa stożkowa o średnicy 8 mm	
drzewo	graniastosłup o wys. 16 mm i podstawie gwiazdy czteroramiennej, o boku ok. 2 mm i średnicy 5,5 mm, dodana podstawa stożkowa o średnicy 8 mm	
latarnia, słup drogowy	walec o wys. 18 mm i średnicy 4,5 mm, dodana podstawa stożkowa o średnicy 8 mm	
kosz na śmieci (tylko gdy nie jest przenośny)	prostokątoscian o wys. 5 mm i podstawie kwadratu o boku 4 mm	

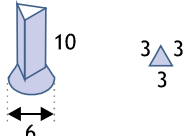
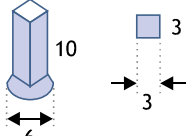
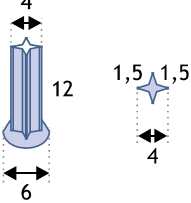
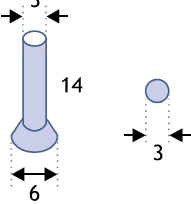
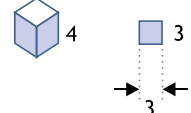
nazwa / przeznaczenie	opis (skala 1:150)	rysunek / przykład
krzew, klomb	graniastostup o wys. 7 mm i podstawie gwiazdy czteroramiennej, o boku ok. 2 mm i średnicy 5,5 mm	
słupek, np. przy krawędzi chodnika	walec o wys. 6 mm i średnicy 4,5 mm	
łańcuch, szlaban	linia czworostianów o boku 4 mm, w odległości co 3 mm	
słup ogłoszeniowy	walec o wys. 14 mm i średnicy 10 mm	
ławka	dwa prostopadłościanny połączone wzdłuż dłuższych krawędzi, 4 x 15 mm o wys. 3 mm (siedzisko) oraz 3 x 15 mm o wys. 6 mm (oparcie)	

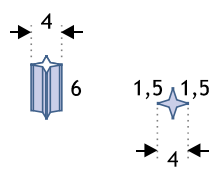
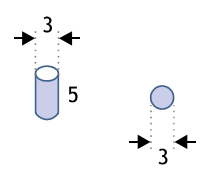
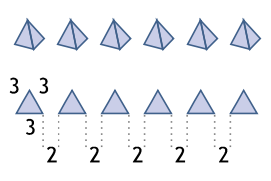
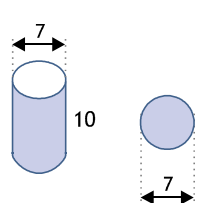
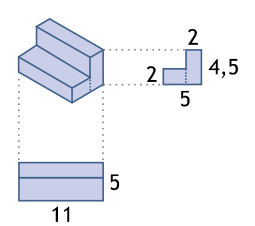
nazwa / przeznaczenie	opis (skala 1:150)	rysunek / przykład
budynek z wejściem	budynki o podstawie odpowiadającej obrysowi, o prostokątnych, gładkich ścianach, mogą być ograniczone do frontu o głębokości min. 15 mm; budynki ścięte na wysokości 20 mm; wejścia w postaci wnęki o głębokości 1,5 mm, o min. wymiarach 12 x 7 mm, proporcjonalnie do wymiarów wejścia w oryginale; ew. stopnie o wys. 1,5 mm; pow. górna umożliwia umieszczenie napisów w systemie Braille'a (nazwy lub nr wej.)	

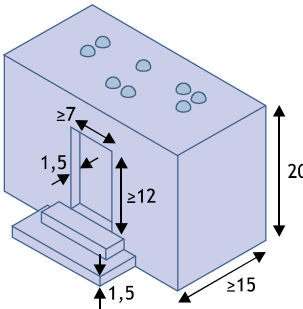
Rys. 4. Porównanie propozycji symboli do stosowania na makietach i mapach 3D w skalach 1:150 oraz 1:200.



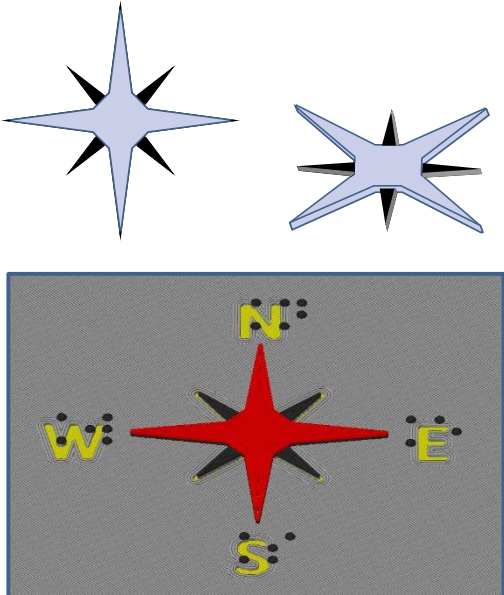
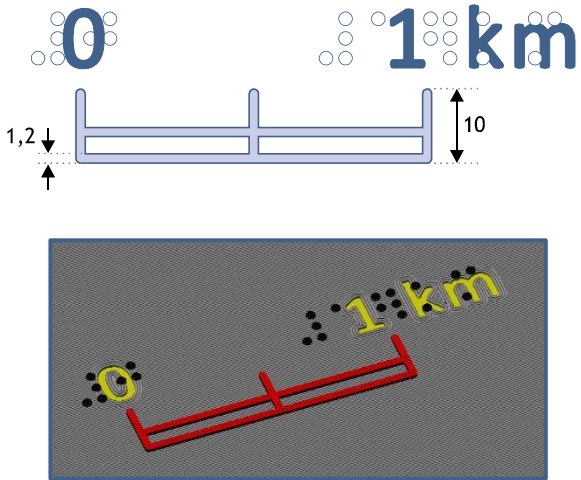
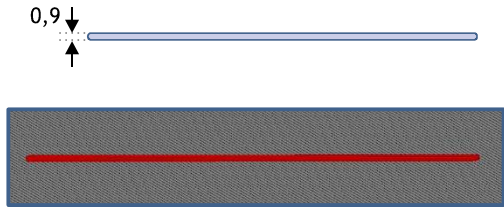
Część 5. Oznaczenia obiektów do stosowania na makietach i mapach 3D w skali 1:200.

nazwa / przeznaczenie	opis (skala 1:200)	rysunek / przykład
znak drogowy	graniastosłup o wys. 10 mm i podst. trójkąta równobocznego o boku 3 mm, dodana podstawa stożkowa o średnicy 6 mm	
sygnalizacja świetlna	prostokąt o wys. 10 mm i podstawie kwadratu o boku 3 mm, dodana podstawa stożkowa o średnicy 6 mm	
drzewo	graniastosłup o wys. 12 mm i podstawie gwiazdy czteroramiennej, o boku ok. 1,5 mm i średnicy 4 mm, dodana podstawa stożkowa o średnicy 6 mm	
latarnia, słup drogowy	walec o wys. 14 mm i średnicy 3 mm, dodana podstawa stożkowa o średnicy 6 mm	
kosz na śmieci (tylko gdy nie jest przenośny)	prostokąt o wys. 4 mm i podstawie kwadratu o boku 3 mm	

nazwa / przeznaczenie	opis (skala 1:200)	rysunek / przykład
krzew, klomb	graniastostup o wys. 6 mm i podstawie gwiazdy czteroramiennej, o boku ok. 1,5 mm i średnicy 4 mm	
słupek, np. przy krawędzi chodnika	walec o wys. 5 mm i średnicy 3 mm	
łańcuch, szlaban	linia czworokątów o boku 3 mm, w odległości co 2 mm	
słup ogłoszeniowy	walec o wys. 10 mm i średnicy 7 mm	
ławka	dwa prostopadłościany połączone wzdłuż dłuższych krawędzi, 3 x 11 mm o wys. 2 mm (siedzisko) oraz 2 x 11 mm o wys. 4,5 mm (oparcie)	

nazwa / przeznaczenie	opis (skala 1:200)	rysunek / przykład
budynek z wejściem	<p>budynki o podstawie odpowiadającej obrysowi, o prostopadłych, gładkich ścianach, mogą być ograniczone do frontu o głębokości min. 15 mm; budynki ścięte na wysokości 20 mm; wejścia w postaci wnęki o głębokości 1,5 mm, o min. wymiarach 12 x 7 mm, proporcjonalnie do wymiarów wejścia w oryginale; ew. stopnie o wys. 1,5 mm; pow. górna umożliwia umieszczenie napisów w systemie Braille'a (nazwy lub nr wej.)</p>	

Część 6. Pozostałe oznaczenia do stosowania na planach i mapach.

nazwa / przeznaczenie	opis	rysunek / przykład
<p>róża kierunków z oznaczeniami kierunków głównych oraz kierunków pośrednich</p>	<p>strzałki kierunków głównych o grubości: 1 mm; strzałki kierunków pośrednich o grubości: 0,5 mm</p>	
<p>podziałka skali</p>	<p>linie o szer. 0,9 mm, poziomą część skali tworzy podwójna linia w odległości 2,2 mm i wys. 10 mm</p>	
<p>linia ciągła</p>	<p>zalecana min. szer. 0,9 mm, min. wys. 0,4 mm</p>	

nazwa / przeznaczenie	opis	rysunek / przykład
linia ciągła podwójna (np. do ozn. torów)	zalecana min. szer. linii 0,9 mm, odl. między liniami 1,2 mm, min. wys. 0,4 mm	
linia małych punktów (np. do ozn. rzek)	punkty o średnicy 1,8 mm w odl. 2 mm	
linia dużych punktów (np. do ozn. granic)	punkty o średnicy 1,8 mm w odl. 2 mm	
linia złożona naprzemiennie z punktów i odcinków (np. do ozn. granicy państw)	odcinki o szer. 1,6 mm i dł. 4,5 mm, punkty o śred. 3 mm, elem. w odl. 2 mm	
linia przerywana (np. do ozn. ścieżek lub szlaków)	odcinki o szer. 1,3 mm i dł. 5 mm, w odl. 3 mm	
linia łamana (np. do ozn. kolejki linowej)	linia o szer. 0,8 mm, łamana co ok. 4 mm; szer. zewn. 2,2 mm	

Praktyczna realizacja – wskazówki i rozwiązania

Uzyskanie wysokiej jakości, a co za tym idzie czytelności oznaczeń i wszelkich informacji prezentowanych w sposób wizualny i dotykowy jest uzależnione od wielu czynników. Tworząc tyflomapy czy tyflomakiety należy uwzględnić obowiązujące normy, rozwiązania wskazywane przez specjalistów m.in. tyflogologów i specjalistów z zakresu tworzenia grafiki dotykowej, a także przyzwyczajenia odbiorców (osób niewidomych), oraz różnej ich biegłości w odczytywaniu grafiki dotykowej. Do czynników, które należy wziąć pod uwagę należą także możliwości i ograniczenia technologii zastosowanej do tworzenia wizualno-dotykowych makiet i planów.

W niniejszym opracowaniu starano się uwzględnić wszystkie wymienione wyżej czynniki, a wypracowane rozwiązania zostały zastosowane w praktycznych projektach i były weryfikowane przez odbiorców. Mając na uwadze duży obszar zagadnienia należy jednak je traktować jako propozycje wymagające dalszego rozwijania i unifikowania stosowanych rozwiązań.

Zaproponowane oznaczenia zostały zaprojektowane z myślą o ich stosowaniu w oparciu o technologię przyrostowego druku 3D (FDM). Uzyskanie jak najlepszej jakości detali, w szczególności oznaczeń w systemie Braille, wymaga szczególnej uważności w procesie przygotowania do druku (tworzenia kodu sterującego dla drukarki – G-Codu). Oznacza to m.in. staranne dobranie parametrów temperaturowych stosownie dla używanego filamentu, stosowania niskich warstw (0,1 mm lub mniej) druku, czy zmniejszenia prędkości druku. Wiąże się to ze szczegółową wiedzą na temat technologii druku FDM a także praktycznych rozwiązań służących osiągnięciu określonych efektów. Z tego powodu w opracowaniu zebrano także szereg praktycznych wskazówek, porad i rozwiązań wypracowanych podczas realizacji projektów 3D.

Modele z zastosowaniem zaproponowanych oznaczeń tworzone były na popularnej drukarce FDM 3D, z dyszą 0,4 mm, z pojedynczą głowicą typu direct, z możliwością wydruku warstw o wysokości 0,1 mm (pierwsza warstwa o wys. 0,2 mm).

Uzyskanie efektu druku wielokolorowego

Jednym z ograniczeń popularnych drukarek FDM jest wydruk jednokolorowych warstw (z użyciem jednego rodzaju filamentu). Mimo to możliwe jest uzyskiwanie druku wielokolorowego oraz stosowanie koloru jako ważnego elementu funkcjonalnego.

Uzyskanie efektu wielokolorowego na drukarkach z pojedynczą głowicą wymaga zastosowania komendy zmiany koloru filamentu, czyli pauzy wydruku¹⁶, oraz czynności użytkownika związanych ze zmianą filamentu (odsunięcie głowicy, wysunięcie filamentu, oczyszczenie głowicy, założenie filamentu w nowym kolorze, oraz wznowienie wydruku). Wymiana filamentu jest jedną z podstawowych umiejętności niezbędnych do realizacji wydruków 3D w technologii FDM, zatem realizacja wydruku wielokolorowego nie podnosi znacząco trudności związanych z ich realizacją.

Zmiana koloru filamentu może także być wykonana automatycznie dzięki dodatkowym rozszerzeniom drukarki służącym do zmiany filamentu jak Multi Material Upgrade lub systemom dual drive. Możliwe jest także przygotowanie wielokolorowego filamentu w sposób zsynchronizowany z samym wydrukiem¹⁷.

Coraz częściej dostępne są także drukarki FDM z dwoma (a nawet więcej) niezależnie pracującymi głowicami, które umożliwiają drukowanie dwóch obiektów jednocześnie lub z dwóch różnych materiałów (np. o różnych kolorach). Można się spodziewać, że dalszy rozwój technologii upowszechni rozwiązania tego typu upraszczając druk wielokolorowy oraz zwiększając precyzję i możliwości druku FDM.

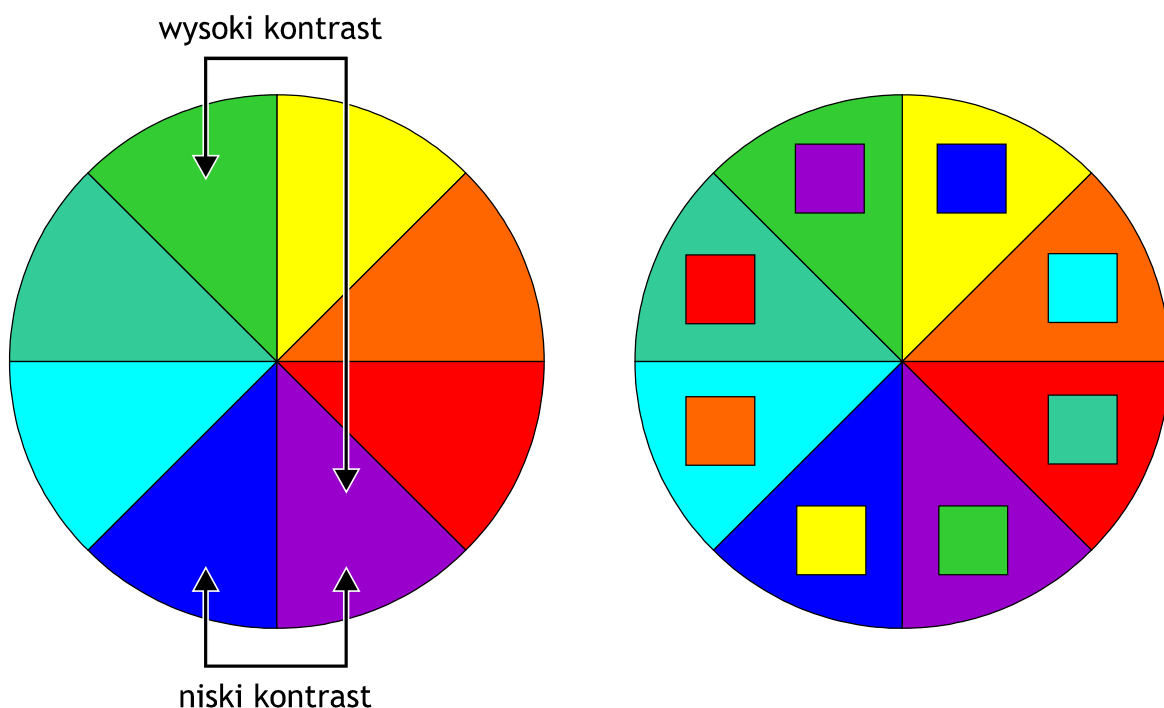
¹⁶ W drukarkach obsługiwanych przez PrusaSlicer jest to komenda M600.

¹⁷ Przykładem urządzenia tego typu jest Palette 3 firmy Mosaic, link:
<https://www.mosaicmfg.com/products/palette-3-pro> [dostęp: 2023.12.1]

Zastosowanie koloru w projektach 3D

Mimo, że główną grupą odbiorców są osoby niewidome zastosowanie koloru ma istotne znaczenie funkcjonalne, szczególnie zastosowanie w tworzonych modelach i projektach kontrastowych zestawień¹⁸. Dzięki temu osoby znacznie słabowidzące, ale wspomagające się wzrokiem mogą łatwiej korzystać z tworzonych modeli.

Rys. 5. Koło barw. Optymalny kontrast pomiędzy kolorami najprościej wyznaczyć poprzez łączenie kolorów leżących naprzeciwko siebie na kole barw. Wskazane jest zestawianie koloru jasnego z ciemnym. Wybierając kolory sąsiadujące na kole barw uzyskamy połączenie o niskim kontraście. Źródło: opracowanie własne.



¹⁸ Zestawienie kontrastowe oznacza stosowanie kolorów leżących możliwie daleko od siebie na kole barw – za: Kończyk D. (2011).

Zastosowanie kolorów ma także ważne znaczenie dla jednoczesnego stosowania oznaczeń w zapisie zwykłym obok oznaczeń w systemie Braille'a. Umożliwia to korzystanie z modeli osobom słabowidzącym oraz umożliwia łatwą interakcję na temat modelu z osobami widzącymi nie znającymi brajla.

Kolorowe modele (makiety, plany itp.) będą także atrakcyjne dla uczniów pełnosprawnych umożliwiając ich używanie w grupach mieszanych lub po prostu na zajęciach. Zastosowanie oznaczeń brajlowskich w żaden sposób nie obniży właściwości modelu, a będzie zwiększało świadomość i wrażliwość osób widzących na potrzeby osób niewidomych.

Szczególnym wyzwaniem dla uzyskania efektu druku wielokolorowego jest jednoczesne stosowanie napisów w systemie Braille'a oraz w zapisie zwykłym. Możliwe jest zastosowanie dwóch rozwiązań: rozdzielenie obszarów z informacjami w systemie Braille'a oraz w zapisie zwykłym lub połączenie zapisu w systemie Braille i w zapisie zwykłym poprzez ich nałożenie na siebie.

Rozdzielenie obszarów z informacjami w systemie Braille'a, oraz w zapisie zwykłym

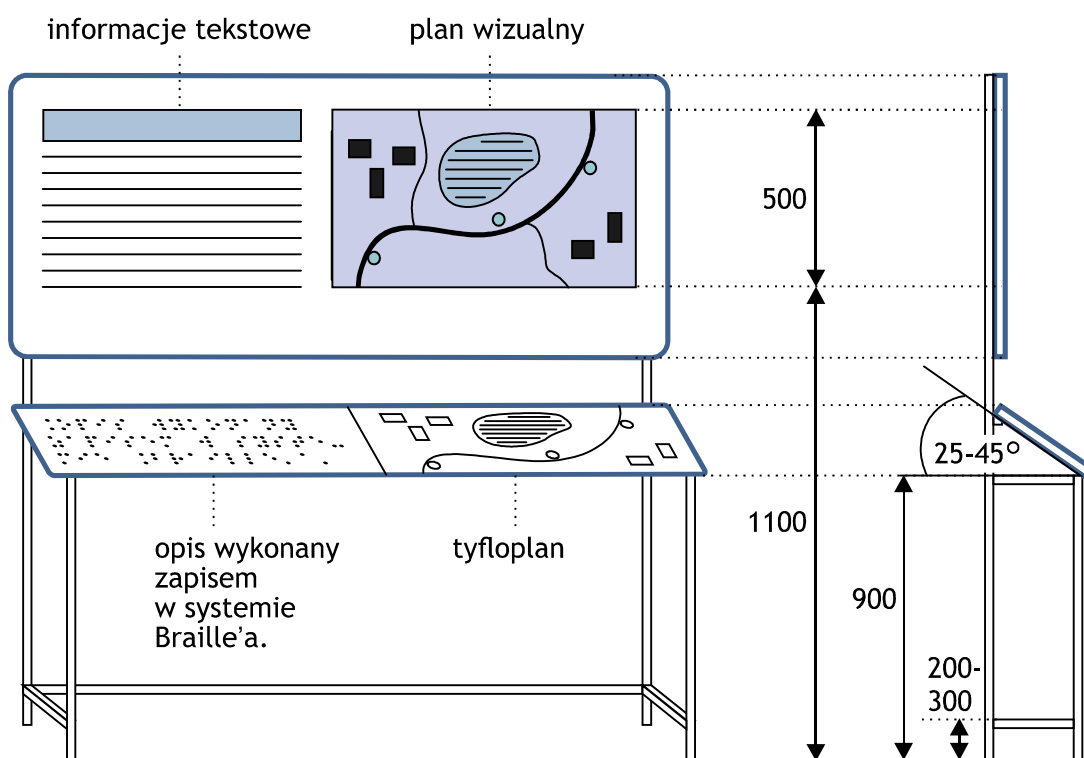
Najprostsze i najłatwiejsze do zastosowania jest rozdzielenie obszarów z informacjami w systemie Braille'a oraz w zapisie zwykłym. To rozwiązanie umożliwia zastosowanie zapisu brajlowskiego w pełnej zgodności z obowiązującymi wymogami¹⁹. Legenda z informacjami w systemie Braille'a może mieć bardzo zwartą postać i zostać umieszczona blisko planu lub modelu, którego dotyczy – ułatwi to odnalezienie i korzystanie z legendy przez osobę niewidomą²⁰.

¹⁹ Obowiązujący w Polsce standard zapisu w systemie Braille'a to tzw. Standard Marburg Medium. Zgodność, o której mowa dotyczy przede wszystkim zwartej prezentacji zapisów brajlowskich w wielu liniach.

²⁰ Zobacz: Zasady tworzenia i adaptowania grafiki dla uczniów niewidomych (2011),

Rozdzielenie obszarów informacji przeznaczonych dla osób niewidomych oraz odbiorców widzących umożliwia także podzielenie tak przygotowanego planu na dwie części. Pierwszą część można umieścić pod kątem, w sposób wygodny do odczytywania dotykiem, a drugą część przeznaczoną do odczytania wzrokiem można umieścić nad nią, np. w sposób pionowy bezpośrednio na ścianie. Ten sposób rozdzielania planu może ograniczyć miejsce niezbędne dla prezentacji planu²¹.

Rys. 6. Tablica informacyjna z rozdzielonymi informacjami prezentowanymi w sposób dotykowy oraz wizualny. Opracowanie własne na podstawie Stasiak A., Śledzińska J., Włodarczyk B. (2014), s. 431.



²¹ Podobne rozwiązanie można znaleźć w: Stasiak A., Śledzińska J., Włodarczyk B. (2014), s. 431.

Konieczność powtórzenia oznaczeń w zapisie zwykłym wymaga nieco więcej miejsca poprzez potrzebę powtórzenia wszystkich podpisanych oznaczeń. Legenda z informacjami w zapisie zwykłym powinna być umieszczona nieco dalej od planu, tak aby nie oddzielać od siebie planu oraz treści w brajlu. Zasadę tę należy stosować także w odniesieniu do oznaczeń (etykiet) bezpośrednio na planie. Przykładowo, numer lub oznaczenie pomieszczenia najpierw powinno nastąpić w systemie Braille'a, a dopiero dalej w zapisie zwykłym. Kolejność należy rozumieć jako bliskość od symbolu oznaczającego wejście do pomieszczenia.

Rozdzielenie obszarów informacji w zapisie w systemie Braille'a oraz w zapisie zwykłym ułatwia także przygotowanie projektu oraz jego wydruk. Zarówno oznaczenia w brajlu jak i zapis zwykły drukowane są w sposób kontrastowy względem powierzchni, na której są umieszczone. Dla zapewnienia odpowiedniego krycia filamentem o zmienionym kolorze wysokość zapisu powinna odpowiadać co 4-6 warstwom filamentu o wysokości 0,1 mm.

Fot. 1. Tyfloplan pomieszczeń BON UW. Obszary legendy w zapisie brajlowskim oraz w zapisie zwykłym zostały rozdzielone. Informacje w zapisie brajla prezentowane są w dolnej części planu, w bezpośredniej bliskości planu. Rozdzielenie napisów w systemie Braille'a oraz w zapisie zwykłym umożliwia ich wydruk w sposób kontrastowy ponad powierzchnię planu. Ciekawym rozwiązaniem jest także zastosowanie wypukłego kodu QR (podpisanego także brajlem) z adresem biura. Dotykowe odnalezienie obszaru kodu QR ułatwi jego rozpoznanie z użyciem smartfona.



Połączenie zapisu zwykłego i zapisu w systemie Braille'a

Uzyskanie efektu połączenia zapisu w systemie Braille'a oraz w zapisie zwykłym (w sposób kontrastowy) na drukarkach z pojedynczą głowicą wymaga naprzemiennego stosowania obu zapisów lub takiego nałożenia zapisu brajlowskiego na zapis zwykły, aby w możliwie największym stopniu uniknąć nakładania się punktów brajlowskich na litery.

Zapis zwykły uzyskiwany jest poprzez wycięcie „okienek” w podstawie o kształtach liter na głębokość sięgającą do niższej warstwy utworzonej w kontrastowym kolorze. Jednocześnie zapis brajlowski tworzony jest poprzez wydrukowanie punktów powyżej podstawy, w tym samym kolorze co podstawa. W ten sposób dla osób niewidomych nierówności powstałe w wyniku wycięcia liter poniżej podstawy są niemal niezauważalne, a zapis brajlowski utworzony w tym samym kolorze co podstawa będzie łatwy do zignorowania przez osoby widzące.

Fot. 2. Przykład połączenia zapisu zwykłego i w systemie Braille'a. Na zdjęciu schemat budowy aparatu mowy wraz z rozkładaną legendą. Etykiety na schemacie oraz ich wyjaśnienia w legendzie są prezentowane w sposób kontrastowy oraz w zapisie brajlowskim.



Nakładanie zapisów w praktyce polega zatem najpierw na wycięciu liter zapisu zwykłego w głąb podstawy (do warstwy o zmienionym kolorze), a następnie nałożeniu zapisu brajlowskiego uwypuklonego w górę i w dół podstawy (wyciągnięcie w dół podstawy jest niezbędne dla sytuacji, gdy punkt brajlowski „trafi” w literę zapisu zwykłego, dzięki wyciągnięciu nie będzie on „zawieszony” w powietrzu). Zatem możemy mówić o nałożeniu zapisu brajlowskiego na zapis zwykły. Taka kolejność jest także istotna dla zachowania pełnej jakości punktów brajlowskich – jakiegokolwiek ich „obciążenie” spowoduje utrudnienie w odczytaniu dotykaniem.

Tworzenie napisów „w głąb” podstawy sprawia, że tekst będzie wyraźnie widoczny jedynie podczas czytania prostopadle do powierzchni. Wraz ze zwiększaniem się odchylenia od kąta prostego kontrastowy kolor liter powstający na niższych warstwach podstawy będzie zastniany przez pionowe krawędzie wyciętych liter. W efekcie litery będą wydawały się cieńsze, o nierównomiernej grubości. Aby ograniczyć ten efekt wycięte „okienka” nie powinny być zbyt głębokie (w praktyce do 0,5 mm), a litery powinny być szersze, niż gdyby miały być drukowane w sposób wypukły. W praktyce wystarczające będzie zastosowanie pogrubienia lub poszerzenie liter o obrys ok. 0,1-0,2 mm.

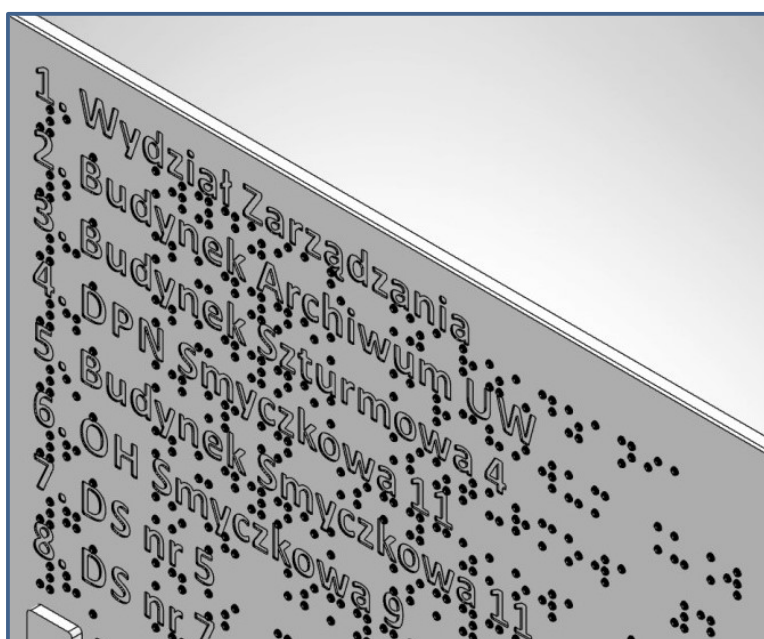
Połączenie zapisów może być zrealizowane poprzez naprzemienne stosowanie zapisu zwykłego oraz brajlowskiego lub ściślejsze nakładanie obu zapisów.

Zapis naprzemienny w praktyce jest możliwy po zwiększeniu interlinii zapisu w systemie Braille’a do 140%. Ta odległość będzie wystarczająca do zmieszczenia podstawowej wysokości liter pomiędzy liniami brajla. Ogonki, dolne elementy liter (np. „g, j, y”) oraz ew. dodatkowe znaki akcentu, które mogą wystąpić nad wielkimi literami (np. w literach „Ć, Ń, Ó, Ś, Ź, Ż”) mogą być umieszczone pomiędzy punktami w zapisie systemu Braille’a. Ewentualnych kolizji można uniknąć sterując odległościami pomiędzy literami w zapisie zwykłym lub szerokościami samych liter. UWAGA: w żadnym razie nie można skalować, rozsuwać lub zmieniać odległości pomiędzy literami w zapisie brajlowskim!

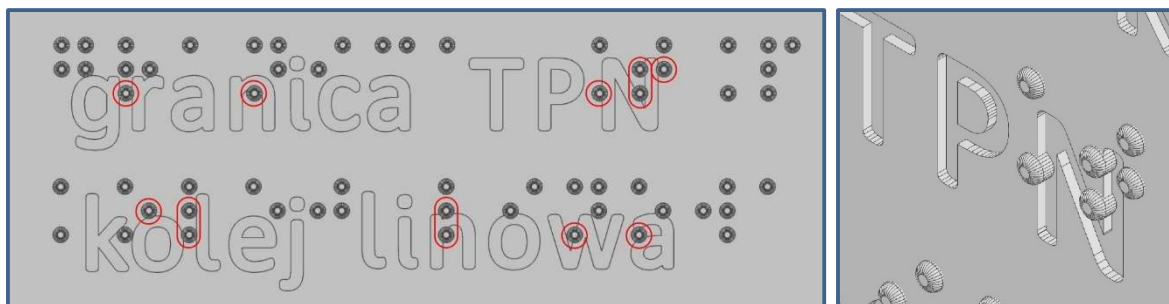
Ściślejsze nakładanie napisów jest możliwe, ale będzie powodować coraz częstsze nakładanie się punktów w znakach systemu Braille’a na litery powodując ich „nadgryzanie”, przerywanie, a w efekcie ograniczając ich czytelność. W praktyce bezpośrednio nałożenie brajla na zapis zwykły możliwy jest tylko dla krótkich oznaczeń lub etykiet.

UWAGA: w żadnym razie nie można skalować, rozsuwać lub zmieniać odległości pomiędzy znakami i punktami tworzącymi zapis w systemie Braille'a!

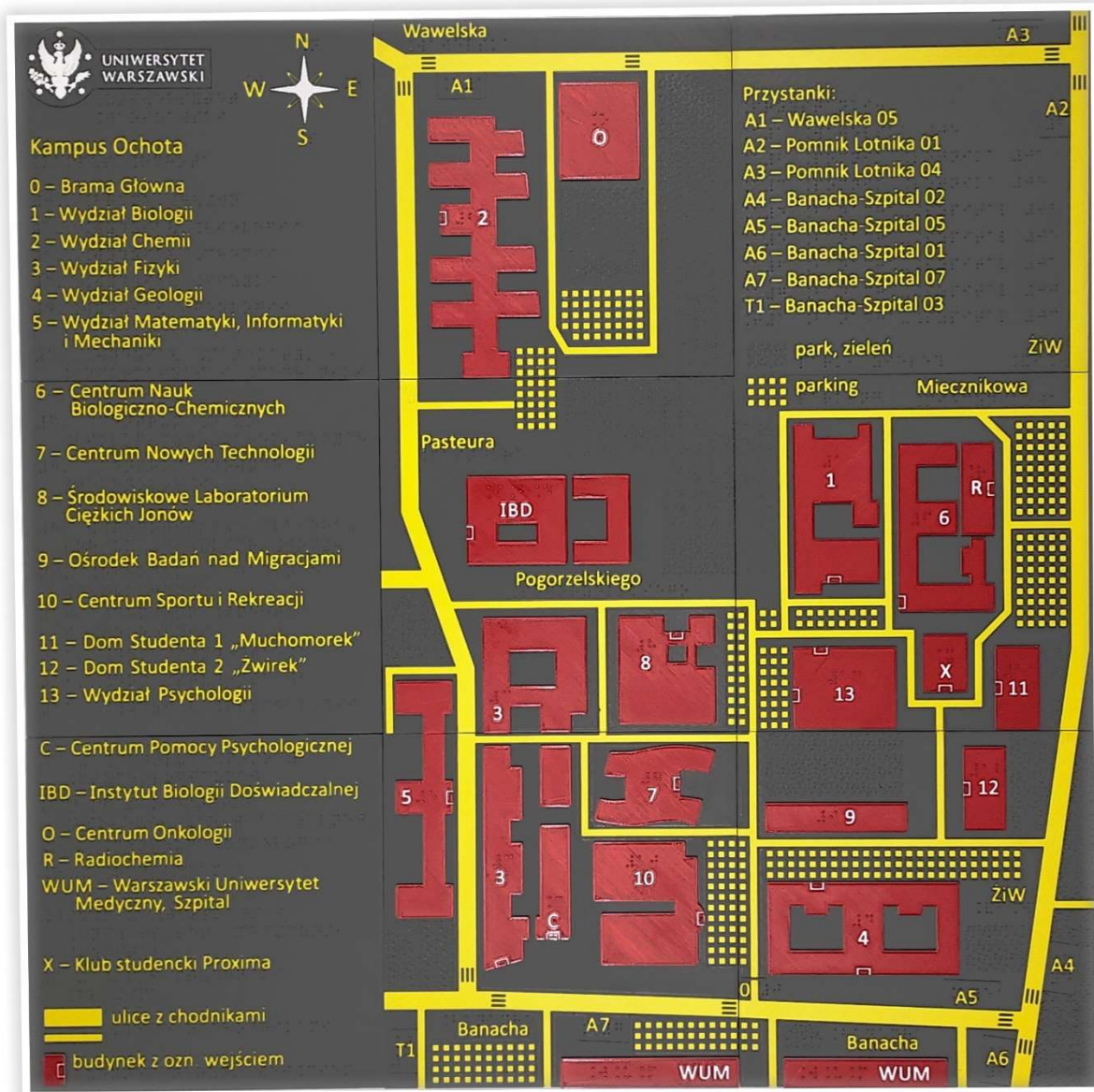
Fot. 3. Fragment projektu z widoczną legendą, w której informacje o oznaczeniach zamieszczono w zapisie systemem Braille'a oraz zapisem zwykłym. Napisy w zapisie zwykłym umieszczone są pomiędzy kolejnymi liniami z zapisem brajlowskim, dla którego interlinia została zwiększona do ok. 140%.



Fot. 4. Fragment dość ciasnego nałożenia zapisu brajlowskiego na zapis zwykły. Punkty w systemie Braille'a mogą nakładać się na elementy liter w zapisie zwykłym. Powstaje efekt „nagryzania” napisów, przez co będą mają one nieco pogorszoną czytelność.



Fot. 5. Tyflopłan Kampusu Ochota. Wszystkie oznaczenia są dualne: w legendzie zastosowano zapis naprzemienny, w oznaczeniach etykiet napisy zostały na siebie nałożone.



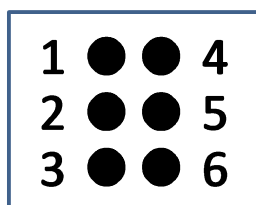
Fot. 6. Fragment legendy, w której zastosowano szereg rozwiązań barwnych i dotykowych: połączone podpisy zwykłe (kontrastowe, wklęsłe) i w systemie Braille'a (wypukłe, w kolorze tła); skala, strzałka – zmiana koloru powyżej wysokości punktów brajlowskich; oznaczenia dotykowo-kontrastowe elementów mapy – odrębne wydruki osadzone w gniazdach.



Zapis w systemie Braille'a

System ten został wymyślony w 1852 przez Louisa Braille'a (1809-1852), Francuza, który stracił wzrok w wieku zaledwie 3 lat. System składa się ze znaków będących kombinacją sześciu wypukłych punktów ułożonych w dwóch kolumnach po trzy punkty w każdej. Lewa kolumna zawiera umownie oznaczone punkty: 1,2,3, zaś prawą stanowią punkty: 4,5,6. Wzajemna kombinacja i rozmieszczenie punktów daje możliwość utworzenia sześćdziesięciu czterech znaków.

Rys. 7. Numeracja punktów w znaku systemu Braille'a.



Pierwsze 25 znaków oraz znak „w” są w ogólności takie same w różnych językach. Podobnie, z pewnymi wyjątkami dotyczy to znaków przestankowych i pomocniczych. Pozostałe znaki mogą mieć różne znaczenie w różnych językach lub notacjach. Dodatkowym utrudnieniem może być stosowanie zapisów skrótowych, różnych stopni.

Dokonując translacji treści polskojęzycznych do zapisu brajlowskiego należy stosować zasady właściwe dla języka polskiego, a także najczęściej stosowanie tzw. zapisu integralnego, czyli pełnego i wiernego zapisu bez stosowania tzw. skrótów. W przypadku zapisów matematycznych, muzycznych lub chemicznych należy zastosować zapisy zgodne z odpowiednimi polskimi notacjami brajlowskimi²².

Choć same zasady przekładu zwykłego tekstu na brajla nie są skomplikowane²³ dokonując zamiany zapisu zwykłego na zapis systemem Braille’a zawsze warto zweryfikować zapis z osobą niewidomą znającą brajla lub tyflologiem-brajlistą. Ma to tym większe znaczenie, im więcej jest informacji, jakie mają być zapisane systemem Braille’a, służą one do podpisywania elementów grafiki dotykowej lub zawierają zapisy techniczne lub obcojęzyczne.

²² Zobacz: Brajlowska notacja matematyczna fizyczna chemiczna (2011)

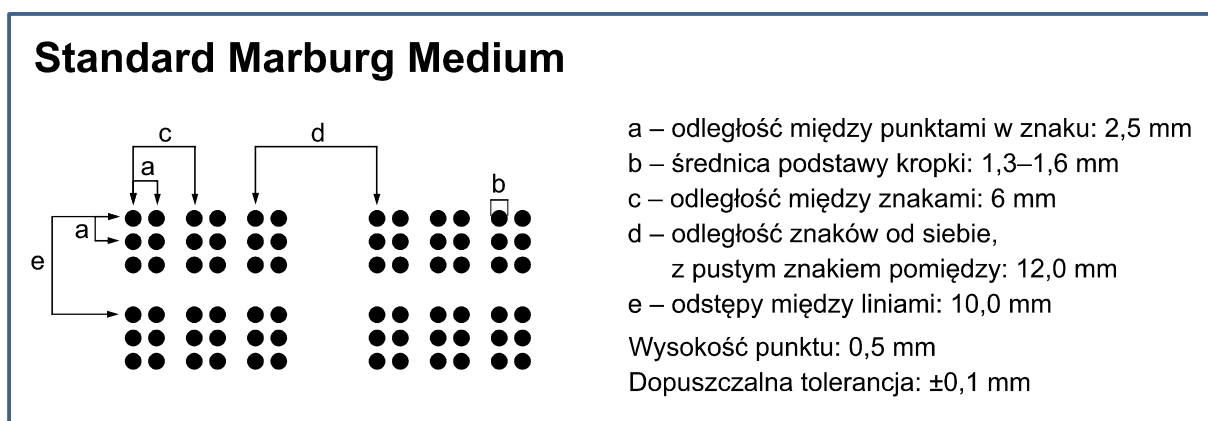
²³ Dowiedz się więcej na: <http://www.braille.pl/> [dostęp: 2023.11.25]

Fot. 7. Alfabet Braille'a dla języka polskiego.

Alfabet Braille'a									
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
u	v	x	y	z	ż	[ź]	
					znak fun. tryg.				
ą	ł	ć	ń	ę	znak fun. tryg.	q	\	ś	w
,	;	:	/	?	+!	()=	„	*	”
znak akcentu	znak pogrubienia	znak kursywy	znak wielkiej litery	znak litery greckiej	znak małej litery				
.	indeks górny	@	#	ó	–				
kropka	indeks górny	znak liczby			myślnik				

Ważną cechą systemu Braille'a są bardzo ściśle ustalone wymiary punktów tworzących znaki systemu, ich wzajemne położenie oraz odległości pomiędzy znakami. W Polsce obowiązuje standard Marburg Medium precyzyjnie określający parametry znaków systemu Braille'a. Modelując znaki systemu Braille'a należy dążyć do jak najdokładniejszego odwzorowania wymaganych parametrów.

Rys. 8. Parametry znaków systemu Braille'a wg standardu Marburg Medium



Wydruk brajla w orientacji poziomej

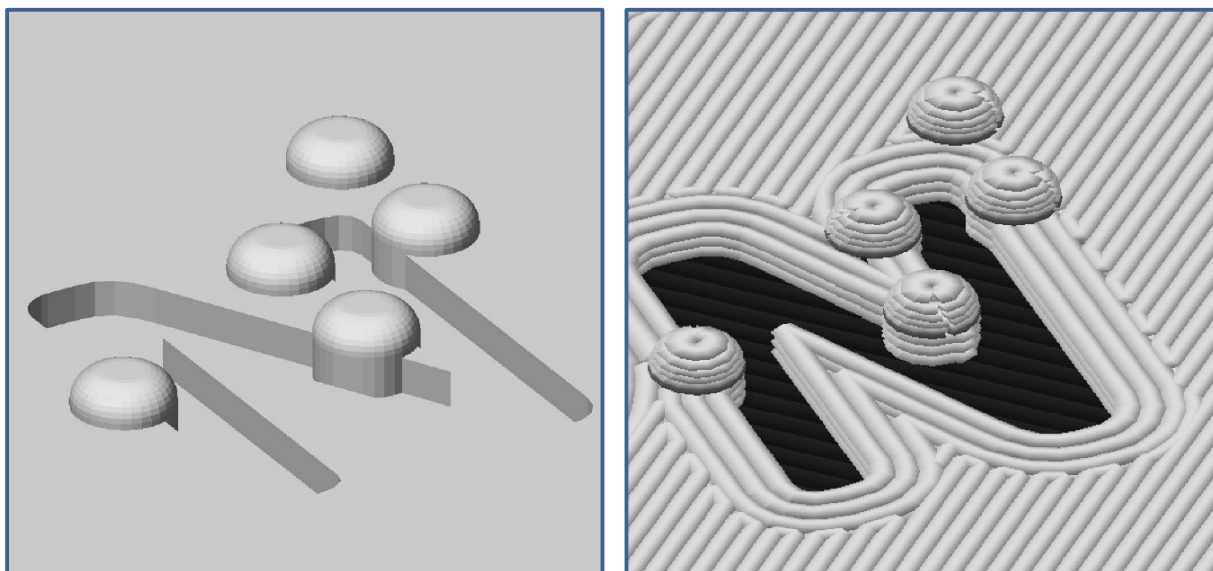
Dla uzyskania wysokiej jakości punktów brajlowskich na wydrukach 3D w druku poziomym niezbędne jest także wykorzystanie maksymalnych możliwości drukarki w zakresie kontrolowanego tworzenia bardzo małych elementów. Dla typowej drukarki FDM uzyskanie jak najlepszej precyzji dla wydruku punktów brajlowskich będzie dokonanie m.in. następujących ustawień:

- ustawienie warstwy 0,1 mm,
- zwolnienie prędkości tworzenia obrysów ok. 5 mm/s lub poniżej,
- zmniejszenie ekstruzji do 0,4 mm lub mniej,
- zmniejszenie współczynnika ekstruzji do ok. 0,98,
- a także zmniejszenie temperatury dyszy o ok. 5 °C.

Dodatkowym czynnikiem mającym wpływ na jakość drukowanego brajla są właściwie dobrane wymiary punktów brajlowskich. Ponieważ wielkość punktu brajlowskiego jest na granicy możliwości precyzji wydruku typowych drukarek FDM należy zastosować maksymalną szerokość podstawy punktu dozwoloną w standardzie Marburg Medium, czyli 1,6-1,7 mm (korzystając z dopuszczonej tolerancji +0,1 mm). Aby uniknąć ostrych zakończeń (choć i tak ten efekt może występować) zaoblenie punktu powinno pozostawiać płaską część, możliwą do wypełnienia. W praktyce średnica wypłaszczenia góry punktu powinna wynieść ok. 0,6 mm.

Uzyskanie dobrej jakości punktów brajlowskich będzie wymagało ich wykończenia poprzez delikatne zeszlifowanie wszelkich powstałych zadziorów. Do tego celu sprawdzi się użycie gąbki szlifierskiej, ścierniej o granulacji P320.

Rys. 9. Uzyskanie wysokiej jakości punktów brajlowskich w wydruku poziomym wymaga dobrania parametrów punktu brajlowskiego do granicznych możliwości precyzji drukarki typu FDM.



Wydruk brajla w orientacji poziomej w skrócie:

- Średnica punktu brajlowskiego ok. 1,6-1,7 mm.
- Parametry związane z zapisem brajlowskim powinny być na poziomie górnych wartości dozwolonych w standardzie Marburg Medium.
- Górna powierzchnia punktów wyplaszczona w okrąg o średnicy ok. 0,6 mm.
- Ustawienie parametrów druku adekwatnie dla uzyskania wysokiej precyzji, m.in. ustawienie warstwy 0,1 mm, zwolnienie prędkości tworzenia obrysów ok. 5 mm/s lub poniżej, zmniejszenie ekstruzji do 0,4 mm lub mniej, zmniejszenie współczynnika ekstruzji do ok. 0,98, a także zmniejszenie temperatury dyszy o ok. 5 °C.
- Wykończenie uzyskanych punktów brajlowskich poprzez mechaniczne zeszlifowanie zadziórów i niedoskonałości gąbką ścierną P320.

Wydruk brajla w orientacji pionowej

Typowe drukarki FDM, które działają poprzez nanoszenie stopionego materiału termoplastycznego warstwami na siebie, aby stworzyć trójwymiarowy obiekt mają znacznie wyższą rozdzielczość pionową niż poziomą (rozumianą jako możliwość uzyskania wydruku 3D o określonej szerokości i wysokości). Dla typowej szerokości ścieżki 0,4 mm, jej wysokość może wynosić 0,1, a nawet 0,075 mm, a więc precyzja druku 3D w kierunku pionowym jest co najmniej 4-krotnie wyższa niż w kierunku poziomym. Własność tę można wykorzystać do drukowania oznaczeń brajlowskich bardzo wysokiej jakości. W tym celu wydruk brajla musi być realizowany w orientacji pionowej: płytka, na której ma zostać umieszczony napis w systemie Braille'a umieszczona musi być pionowo. Wówczas znaki brajlowskie drukowane będą de facto jako niewielkie nawisy złożone z bardzo drobnych warstw.

Płytka, aby stabilnie utrzymywała się na powierzchni stołu musi mieć nieco większą grubość (w praktyce 3 szerokości ścieżek, czyli ok. 1,2 mm będą już wystarczające dla płytek o wysokości do 5-6 cm). Dla wyższych płytek uzyskanie niezbędnej stabilności podczas wydruku będzie wymagało zwiększenia grubości o szerokość

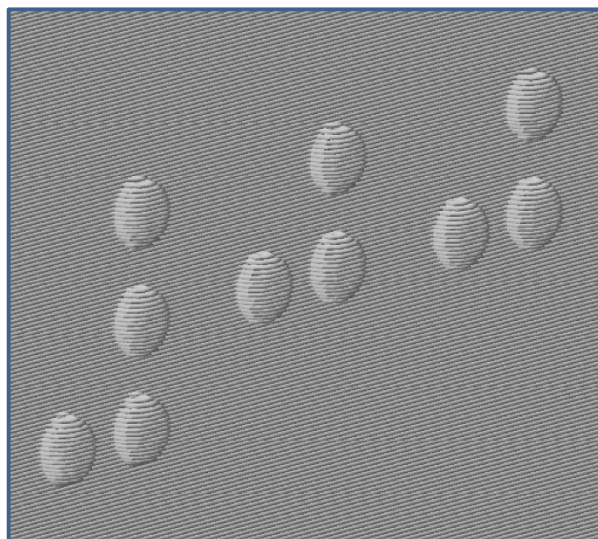
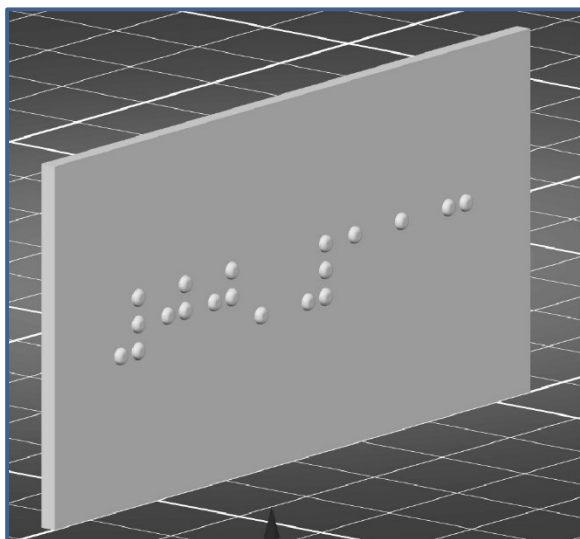
kolejnych ścieżek i/lub dodanie dodatkowej tymczasowej podstawki (tzw. raftu). Dodanie raftu może być wykonane automatycznie w aplikacji tnącej (slajserze) po zaznaczeniu odpowiedniej opcji.

Kolejnymi działaniami służącymi uzyskaniu najlepszej jakości wydruku brajla będzie zmniejszenie wysokości warstw do 0,075 mm oraz zmniejszenie prędkości druku do ok. 15 mm/s.

Wadą pionowego druku brajla jest brak możliwości jego łączenia z kontrastowym zapisem zwykłym (na drukarkach z pojedynczą głowicą). Istnieje też wiele ograniczeń w dodawaniu tą techniką napisów w systemie brajla na inne obiekty – musi być możliwe ich ustawienie płaszczyzną z brajlem prostopadle do podstawy stołu drukarki. Dlatego, ta technika jest szczególnie zalecana, gdy chcemy wydrukować tabliczki informacyjne z brajlem w jednym kolorze (np. do podpisywania pomieszczeń).

Innym sposobem użycia pionowego druku brajla jest drukowanie tą metodą „kostek” z napisami lub oznaczeniami brajlowskimi, i umieszczanie (wklejanie) kostek we wnękach bardziej złożonych modeli lub przedmiotów.

Rys. 10. Uzyskanie wysokiej jakości punktów brajlowskich w druku pionowym wymaga maksymalnego zmniejszenia wysokości warstw. Punkty brajlowskie tworzone są jako nawisy w sposób co najmniej 4-krotnie bardziej precyzyjny, niż w druku poziomym.



Wydruk brajla w orientacji pionowej w skrócie:

- Do stabilnego wydruku pionowego typowych tabliczek z brajlem wystarcza ich grubość złożona z trzech szerokości ścieżek, czyli ok. 1,2 mm.
- Dla wydruku wyższych tabliczek niż 5-6 cm należy zwiększyć ich grubość lub dodać tymczasową podstawkę, tzw. raft.
- Dla uzyskania najwyższej jakości brajla należy zmniejszyć wysokość warstwy do 0,075 mm oraz zmniejszyć prędkość obrysów do ok. 15 mm/s.

Tworzenie napisów na wydrukach

Informacje prezentowane za pomocą zapisu zwykłego są istotne dla wszystkich użytkowników makiet czy planów korzystających z nich w sposób wzrokowy. Czytelny sposób prezentacji umożliwi korzystanie z niej także osobom słabowidzącym. Zapis zwykły będzie także wspomagał osoby niewidome, które w ten sposób łatwiej będą mogły wymieniać informacje nt. planu z osobami widzącymi.

Czytelna prezentacja treści dla osób słabowidzących wymaga zadbania o odpowiednie parametry czcionki, koloru i układu. W skrócie za Kończyk D. (2011):

- a) wskazane jest używanie czcionek jednoelementowych, bez szeryfów i cieniowań, np. z rodziny Arial, Helvetica, Verdana, Callibri itp.,
- b) należy unikać kursywy, a stosować pogrubienie,
- c) rozmiar czcionki powyżej 18 pt uznawany jest jako duży, wystarczający do zastosowania w materiałach drukowanych np. podręcznikach, przeznaczonych dla grupy osób słabowidzących (z założeniem, że część z nich będzie używać dodatkowych pomocy wspomagających),
- d) tekst powinien mieć układ liniowy, równany do lewej, ułożony w jednej kolumnie, w jednolitej orientacji,
- e) zaleca się zastosowanie zwiększonej interlinii, min. 125%,

f) tekst powinien być kontrastowy względem tła²⁴,

Zalecana wielkość tekstu może być określona za pomocą wzoru podanego w normie ISO 21542:2011, pkt 40.5:

$$H_T = W \times L,$$

gdzie: H_T – wysokość tekstu; W – współczynnik wysokości tekstu, liczba z przedziału 0,02-0,03; L – odległość od tekstu, z której tekst będzie odczytywany.

Np. dla $L = 0,5$ m, $W = 0,02$ mamy $H_T = 1$ cm.

W praktyce wystarczające jest zastosowanie tekstu o wysokości ok. 8-9 mm, co odpowiada rozmiarowi czcionki ok. 30 pt.

Napisy tworzone w technologii druku 3D, powinny uwzględniać wymogi wynikające z techniki ich tworzenia, tzn. stosowanych szerokości ścieżek. Szerokość liter powinna wynosić nie mniej niż ok. 3 x szerokości ścieżek, czyli ok. 1,4 mm, a odległość między literami nie może być mniejsza niż 2 x szerokość ścieżki (ok. 0,9 mm). Stosowanie parametrów liter odpowiadających wielokrotności szerokości ścieżek umożliwi uzyskanie wysokiej jakości ich wydruku.

Tworząc napisy poprzez nakładanie warstw filamentu o zmienionym kolorze względem podstawy należy zadbać o odpowiednie krycie koloru. Uzyskanie wystarczająco czystego koloru wymaga nałożenia kilku warstw filamentu, ale zależy także od właściwości samego filamentu. Zastosowanie niższych warstw (0,1 mm) zapewnia nieco lepsze krycie. W praktyce niezbędne jest zastosowanie 3-6 warstw o wysokości 0,1 mm, najczęściej wystarczające jest zastosowanie

²⁴ Zgodnie z wytycznymi WCAG2.1, kryterium 1.4.3 – Minimalny kontrast (poziom AA), wymagany współczynnik kontrastu pomiędzy tekstem a tłem powinien być w stosunku 4,5:1. Współczynnik kontrastu można z łatwością zmierzyć pobierając lub wprowadzając wartości kolorów tekstu i tła do narzędzi typu Colour Contrast Analyser, link: <https://www.tpgi.com/color-contrast-checker/> [dostęp: 2023-11-25]

4 warstw. Jakościowa weryfikacja tych parametrów musi być wykonana na podstawie odpowiednich wydruków testowych.

Rys. 11. Napisy tworzone poprzez nakładanie warstw o zmienionym kolorze filamentu. Szerokość liter to ok. 1,4 mm umożliwia ich utworzenie z trzech ścieżek. Dla zapewnienia właściwego krycia koloru liter zastosowano 4 warstwy po 0,1 mm.



Rys. 12. Napisy tworzone poprzez wycinanie liter w wyższych warstwach o zmienionym kolorze. Litery są głębiej, wymagają więc pogrubienia (tutaj o 0,2 mm), aby zapewnić ich widoczność podczas czytania pod kątem. Litery muszą być rozsunięte co najmniej na szerokość 1-2 ścieżek (0,4-0,9 mm). Dla zapewnienia właściwego krycia koloru podstawy z wyciętymi kształtami liter zastosowano 4 warstwy po 0,1 mm.



Tworząc napisy poprzez wycinanie liter w wyższych warstwach o zmienionym kolorze (np. dla uzyskania połączenia napisów zwykłych i w systemie Braille'a) nie musimy tak precyzyjnie dobrać szerokości liter – litery nie powstają z połączenia

ścieżek, ale z rozsunięcia granicznych ścieżek „okienka”, które tworzy tę literę. Z tego powodu należy zapewnić rozstaw liter pozostawiający odstęp między nimi na co najmniej 1 ścieżkę, a najlepiej 2-3.

Dla uzyskania jak najlepszego kontrastu między literami a podstawą także musimy zastosować kilka wierzchnich warstw. W praktyce niezbędne jest zastosowanie 3-6 warstw o wysokości 0,1 mm, najczęściej wystarczające jest zastosowanie 4 warstw.

Tworząc napisy poprzez wycinanie liter w wyższych warstwach o zmienionym kolorze pojawia się problem przesłaniania części liter przez ścianki boczne „okienek” wraz z odchyleniem się od czytania prostopadle do tekstu. Aby nieco zniwelować ten efekt litery muszą być nieco pogrubiane wraz ze wzrostem głębokości „okienek”. W praktyce litery należy pogrubić o ok. 0,1 mm na każde 0,2 mm głębokości okienka. Zatem litery nad którymi zastosowano 4 warstwy 0,1 mm należy pogrubić o 0,2 mm. Należy pamiętać, że wraz ze zwiększaniem szerokości liter pogarsza się charakterystyczny kształt liter. Modyfikacje należy więc realizować w sposób umiejętny dobierając parametry dla jak najlepszego efektu końcowego.

- Tworząc napisy na wydrukach 3D należy stosować kroje proste, o stałej szerokości liter, bez szeryfów.
- Wielkość liter stosowanych na tyfloplanach powinna wynosić min. 8-9 mm.
- Litery w napisach powinny być rozsunięte na co najmniej 0,4 mm (zalecane 0,9 mm).
- Tworząc napisy poprzez nakładanie warstw filamentu o zmienionym kolorze względem podstawy należy zapewnić szerokość liter co najmniej 1,4 mm (szerokość 3 warstw).
- Tworząc napisy poprzez wycinanie liter w wyższych warstwach o zmienionym kolorze należy pogrubić „okienka” tworzące litery o ok. 0,1 mm na każde 0,2 mm głębokości okienka.
- Uzyskanie odpowiedniego kontrastu oraz nasycenia koloru napisów i tła należy zastosować co najmniej 4 warstwy o wysokości 0,1 mm tego samego koloru.

Wydruki planów o powierzchni przekraczającej obszar wydruku

Typowy obszar wydruku drukarek FDM na płaszczyźnie XY wynosi ok. 20 cm do 30 cm dla każdego boku. Tworzone tyfloplany lub makiety najczęściej wymagają większego obszaru. Plan należy zatem podzielić na części, które mieszczą się w obszarze wydruku drukarki.

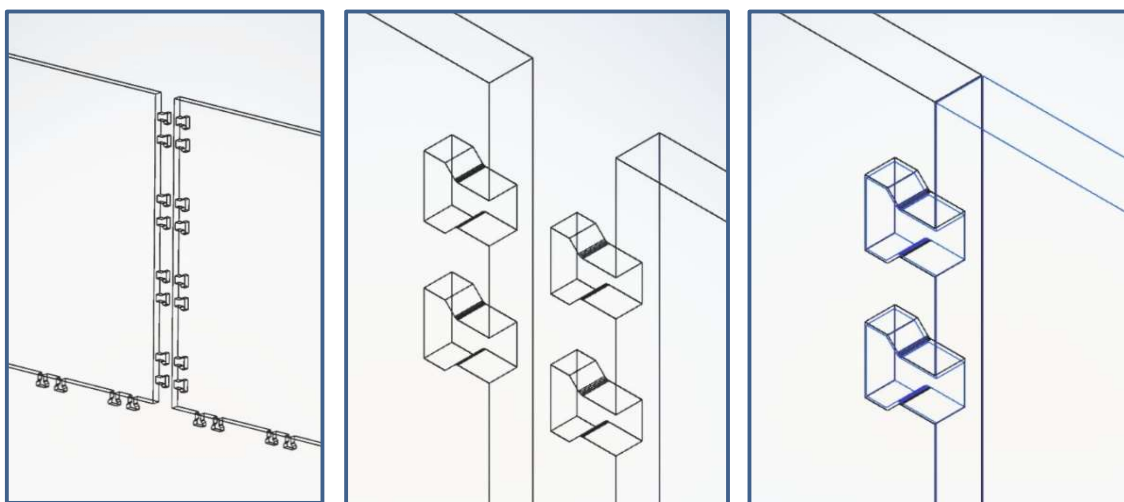
Plan składający się z części powinien umożliwiać jego złożenie w sposób zapewniający idealne połączenie przeciętych elementów (linii, obiektów, tekstów itp.) oraz zapobiegający rozsuwaniu części podczas ich oglądania dotykiem.

Samo pocięcie projektu 3D nie stanowi trudności. Poza pocięciem planu wskazane jest zaprojektowanie połączeń opartych na wypustkach i gniazdach umieszczonych poniżej powierzchni, na której umieszczone zostaną właściwe informacje dotykowe.

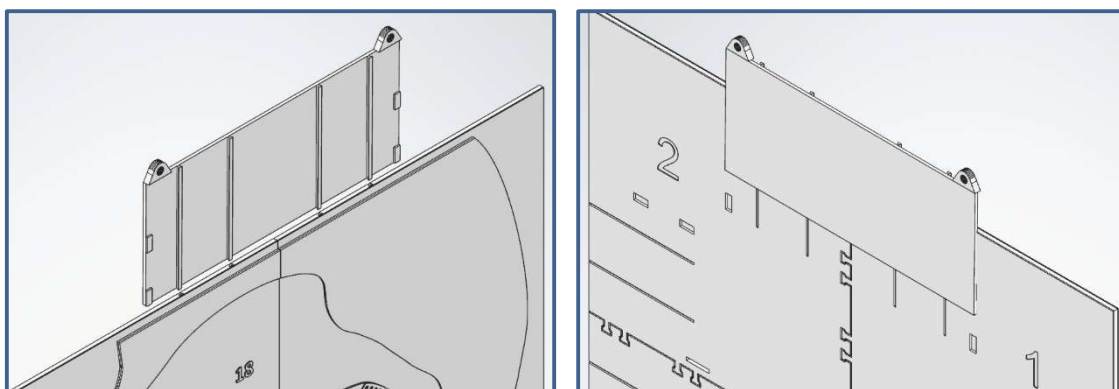
Wypustki powinny mieć kształt szerszego zakończenia, aby po ich wpięciu do gniazda zapobiec rozsuwaniu się części. Z uwagi na drobne niedoskonałości wydruku należy pamiętać o zaprojektowaniu niewielkich szczelin między wypustką a gniazdem, na wszystkich kierunkach. Najczęściej wystarczające jest uwzględnienie różnicy ok. 0,1-0,3 mm (typowo 0,2 mm). Jeśli połączenie opiera się na wielu złączkach (wypustkach) zastosowana szczelina powinna być większa.

Należy pamiętać, że górna powierzchnia gniazda będzie mostem, stąd wynika ograniczenie na szerokość zastosowanych wypustek – najszersza część nie powinna przekraczać 1 cm. Projektując szczelinę między wypustką a gniazdem na osi Z należy uwzględnić efekt niewielkiego opadnięcia środkowej części mostu i zastosować zwiększoną szczelinę – najczęściej wystarcza jej podwojenie (0,2-0,4 mm).

Rys. 13. Widok szkieletowy na modele podstaw z wypustkami i gniazdami do ich złożenia w sposób uniemożliwiający rozsuwanie podczas oglądania.



Rys. 14. Części połączone zaczepami można zablokować, stosując dodatkowy element stabilizujący połączenie. Poniżej przykład blokady w postaci elementów wsuwanych przy każdej krawędzi planszy utworzonej z czterech płytek.

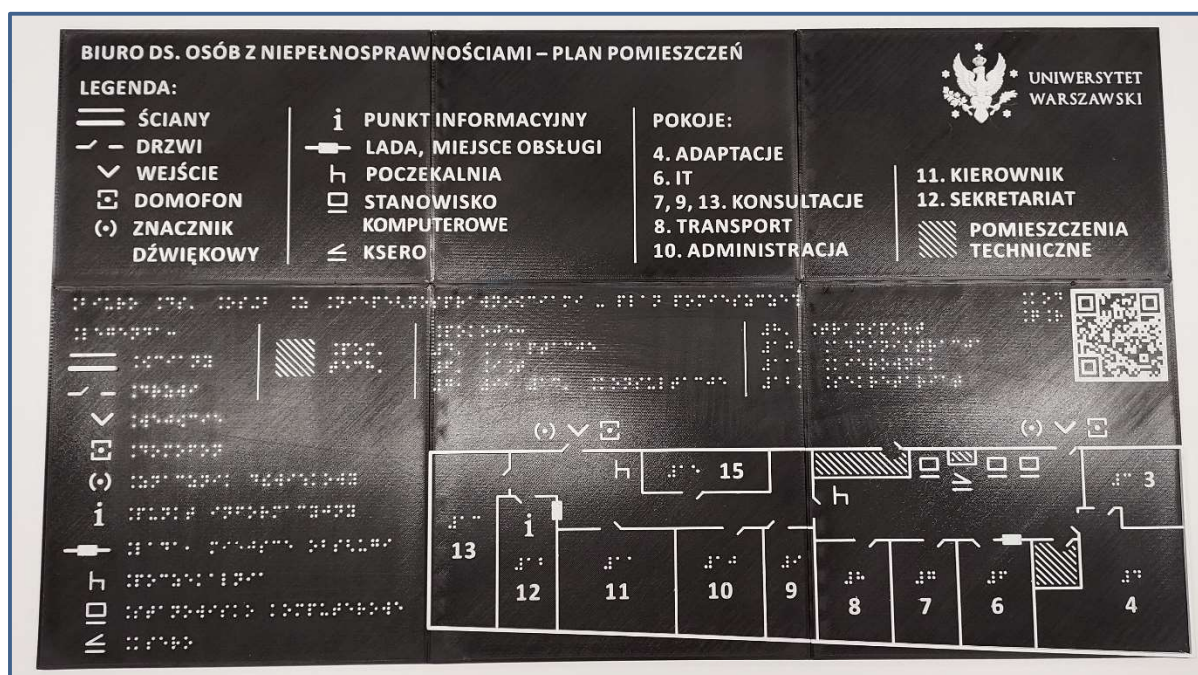


Załącznik nr 1

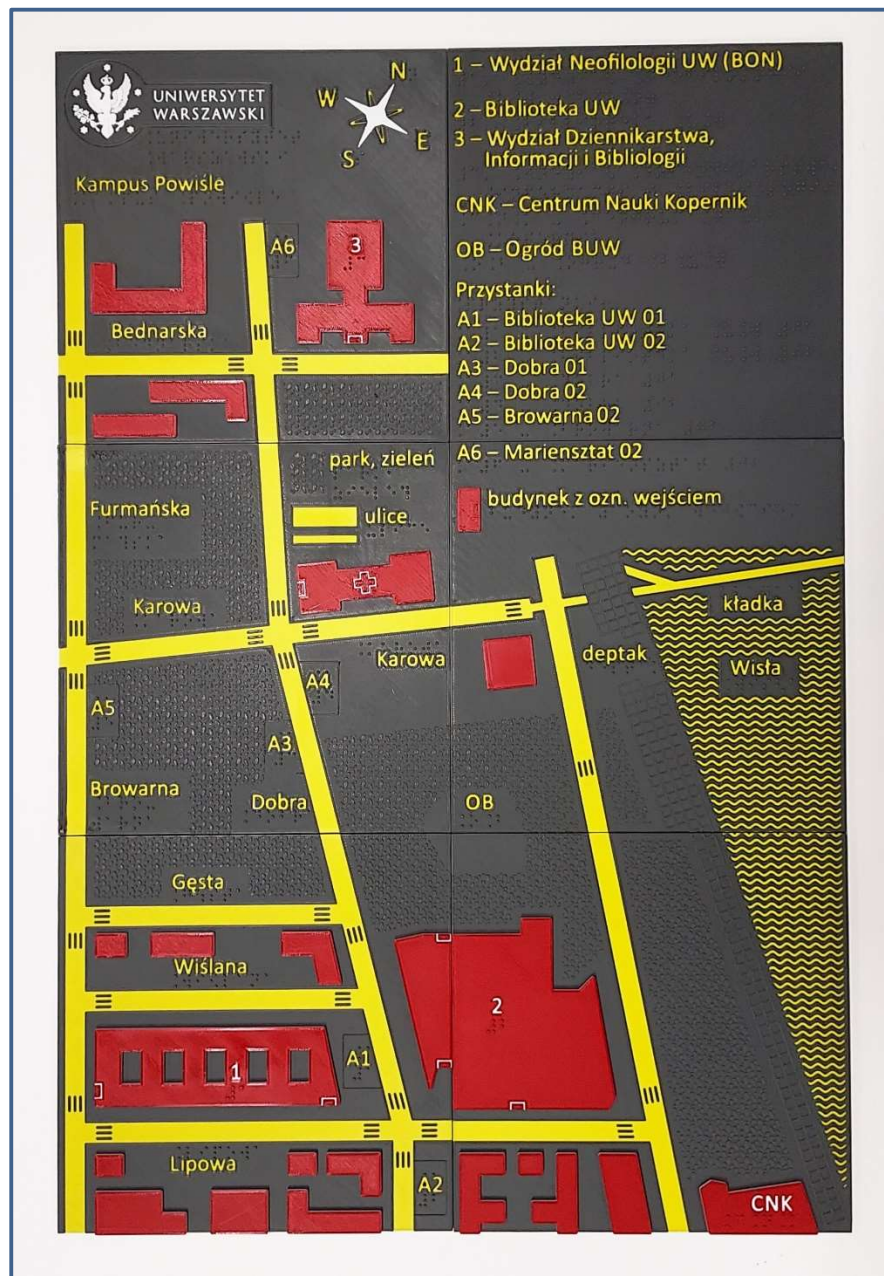
– przykłady realizacji: plany tyflograficzne

Przykłady planów tyflograficznych opracowanych w ramach projektu, z zastosowaniem wypracowanych oznaczeń i rozwiązań.

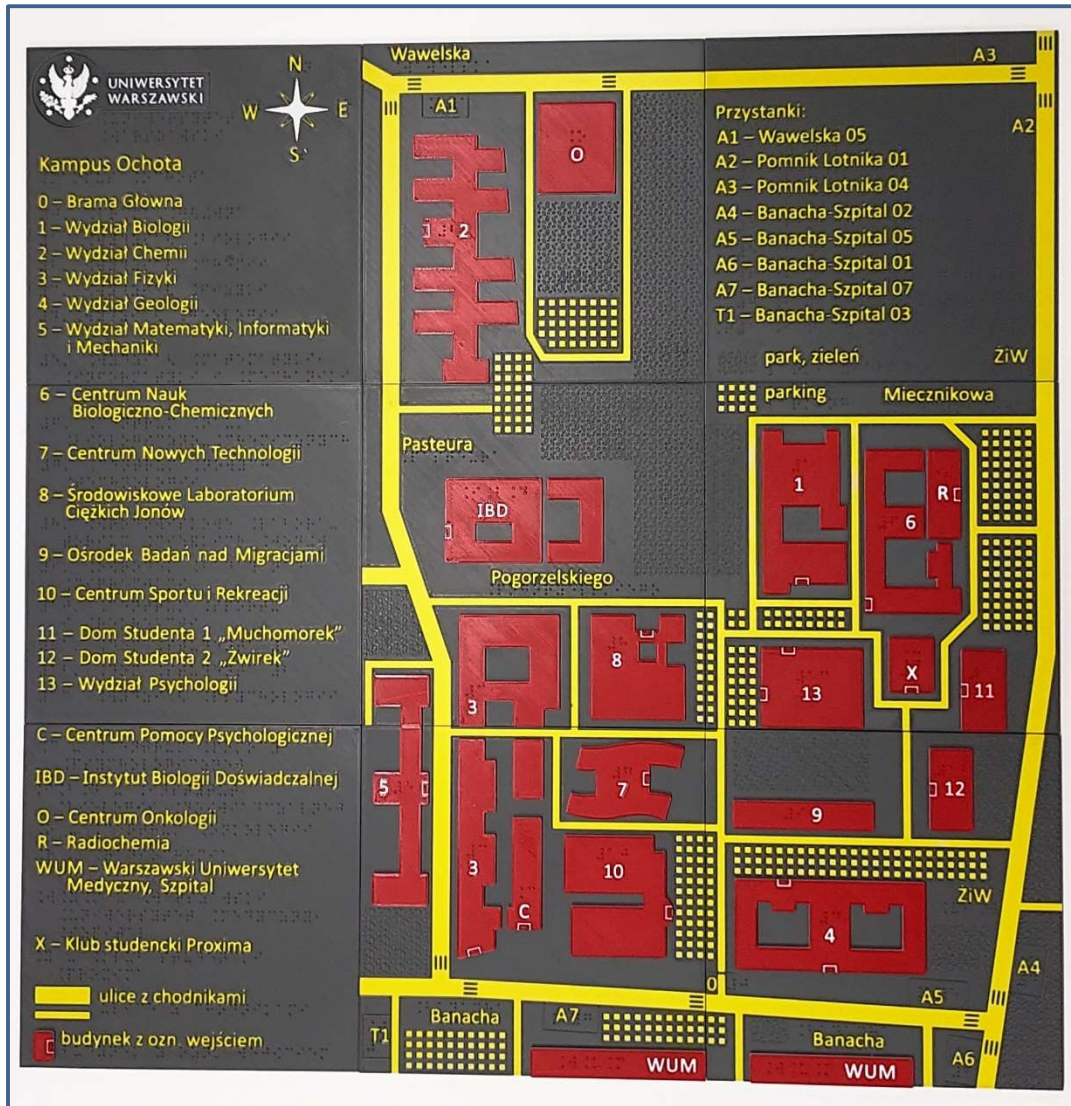
Fot. 1. Tyfloplan pomieszczeń BON UW.



Fot. 2. Tyfloplan Kampusu Powiśle.



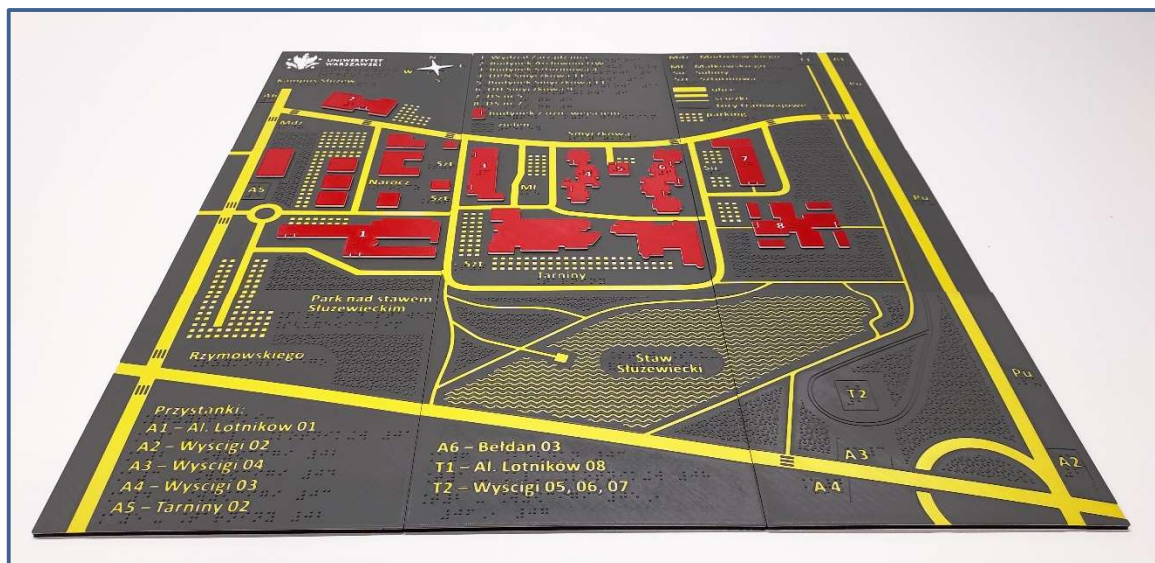
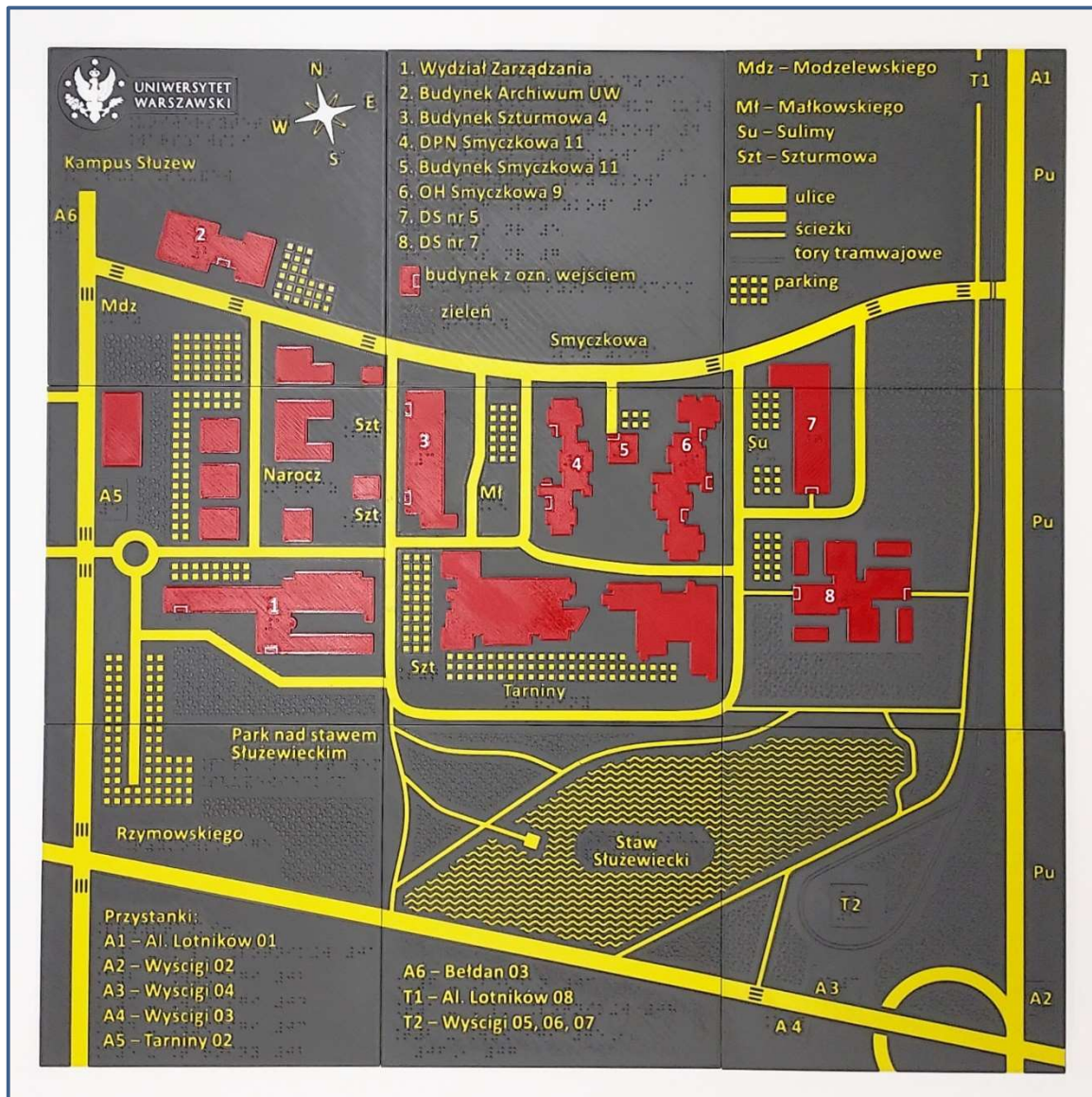
Fot. 3. Tyflopłan Kampusu Ochota.



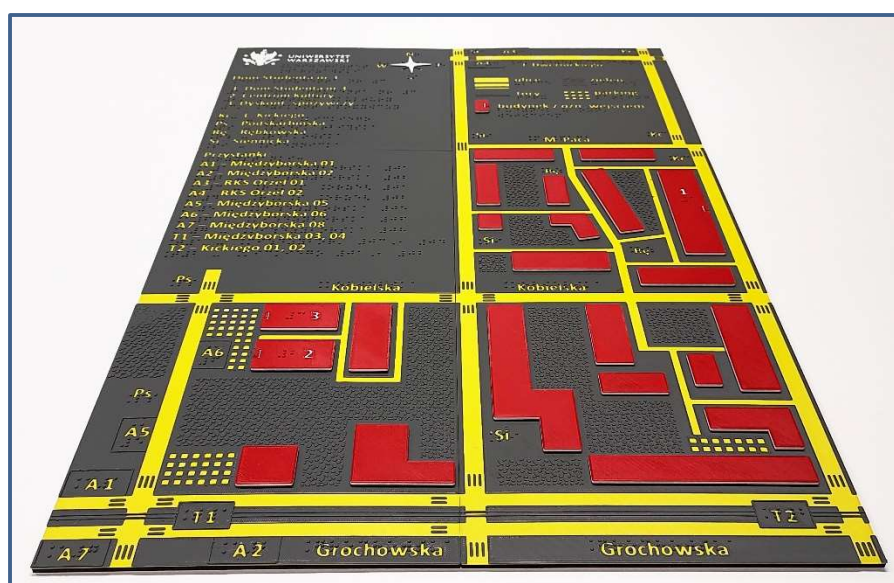
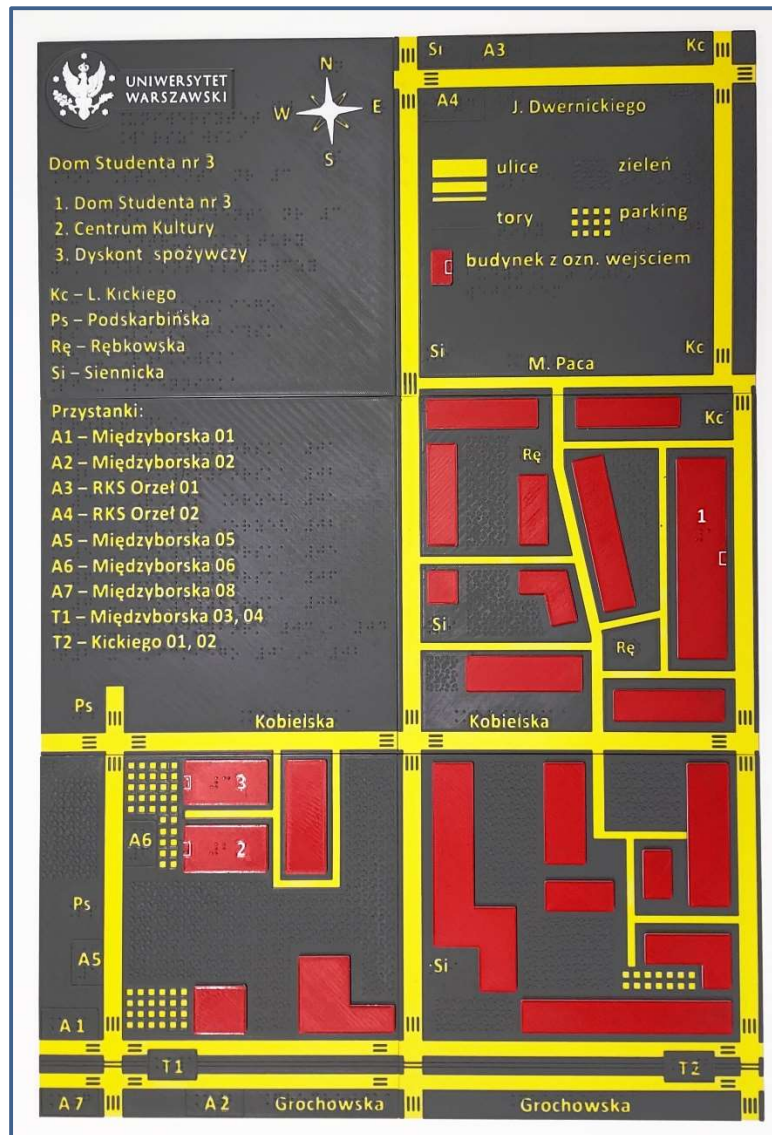
Fot. 4. Tyfloplan Kampusu Głównego



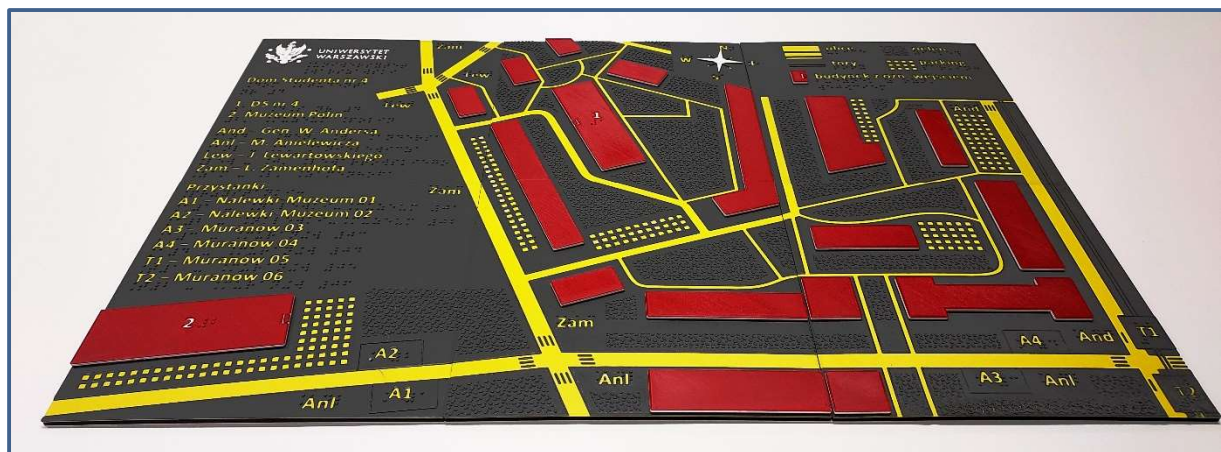
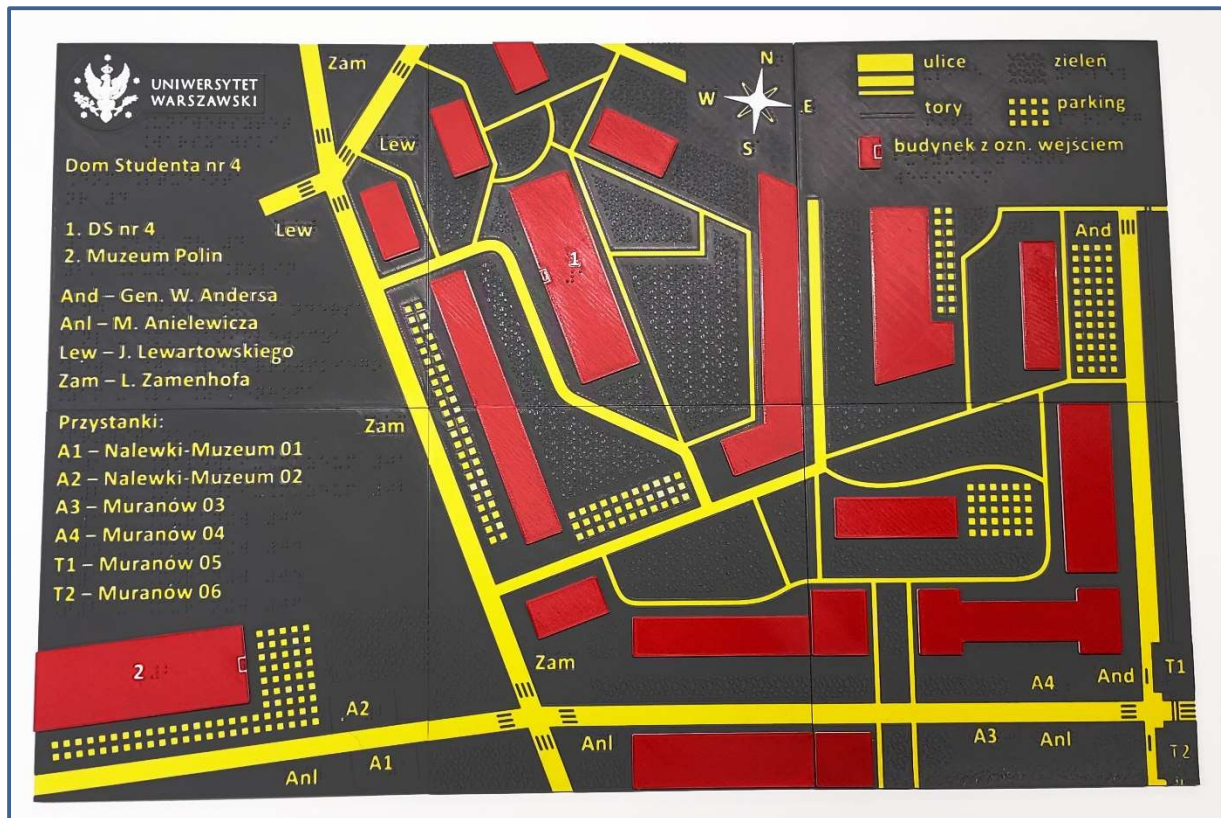
Fot. 5. Tyfloplan Kampusu Służew



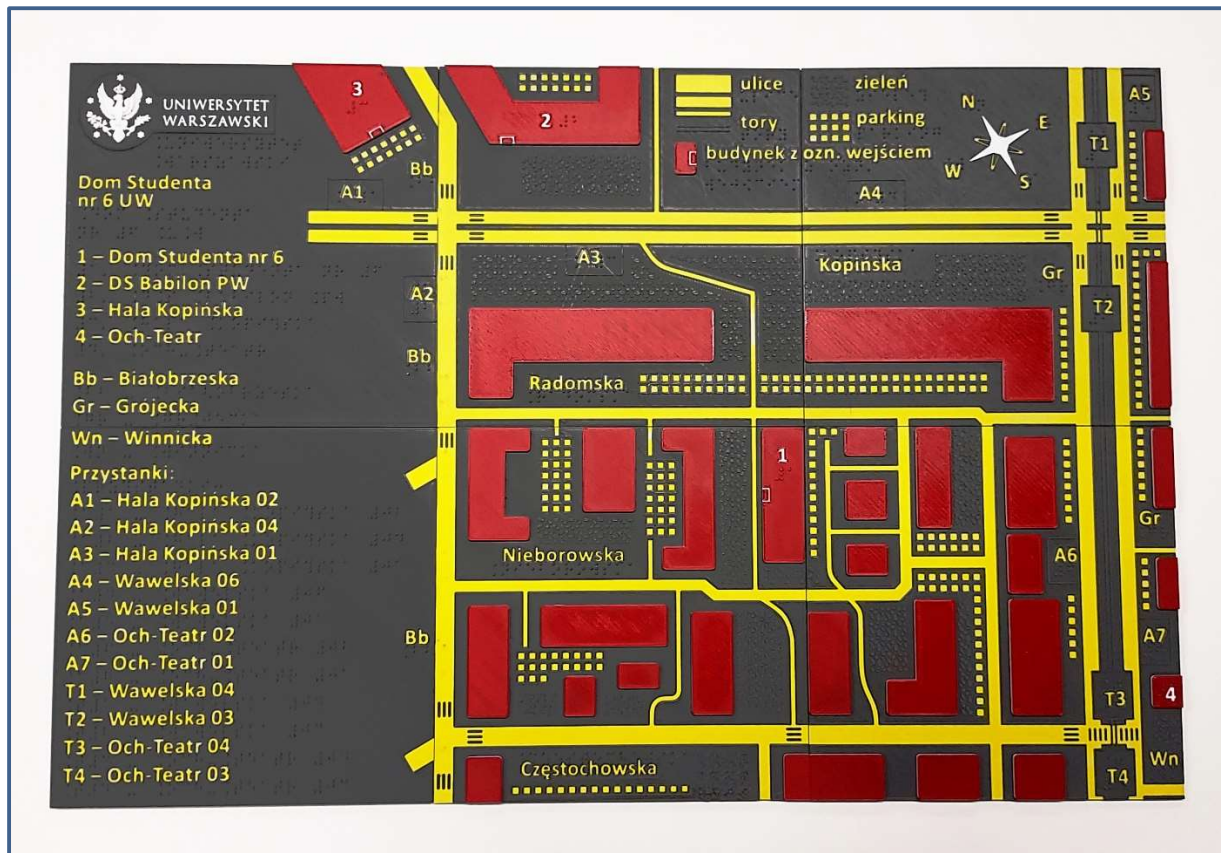
Fot. 6. Tyfloplan otoczenia Domu Studenta nr 3.



Fot. 7. Tyfloplan otoczenia Domu Studenta nr 4.



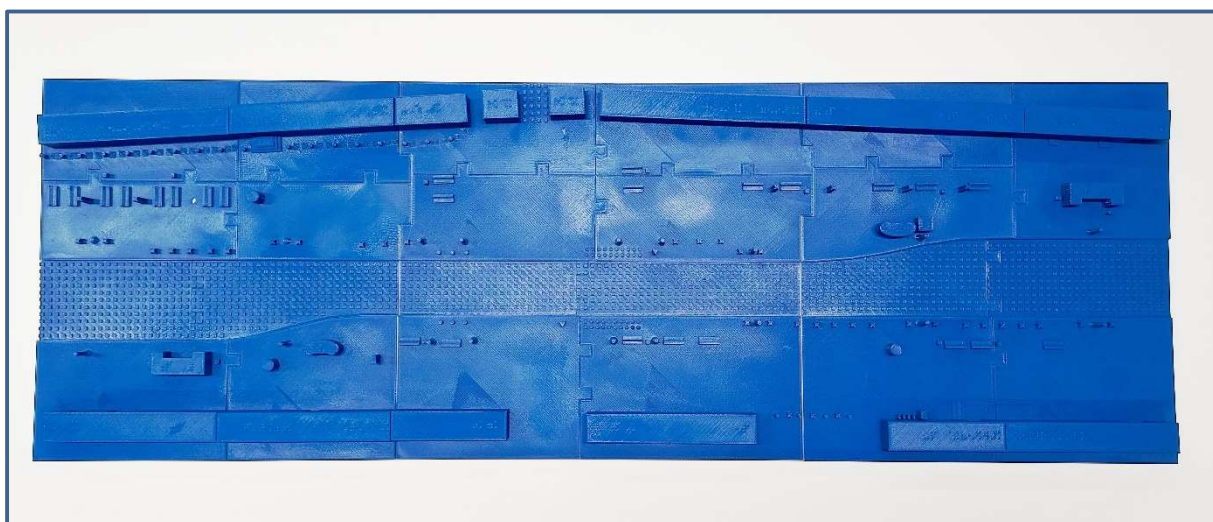
Fot. 8. Tyflopłan otoczenia Domu Studenta nr 6.

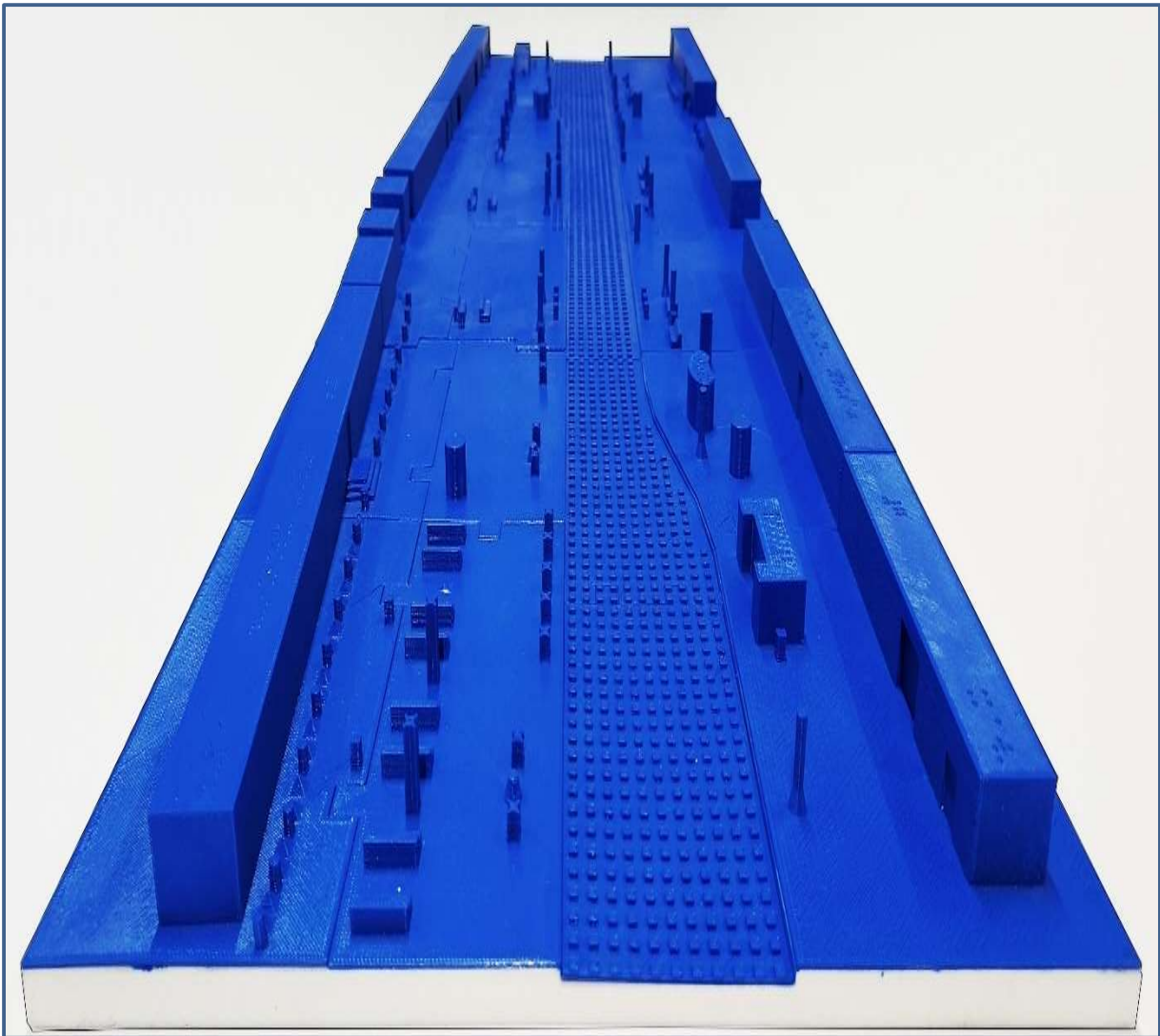


Załącznik nr 2

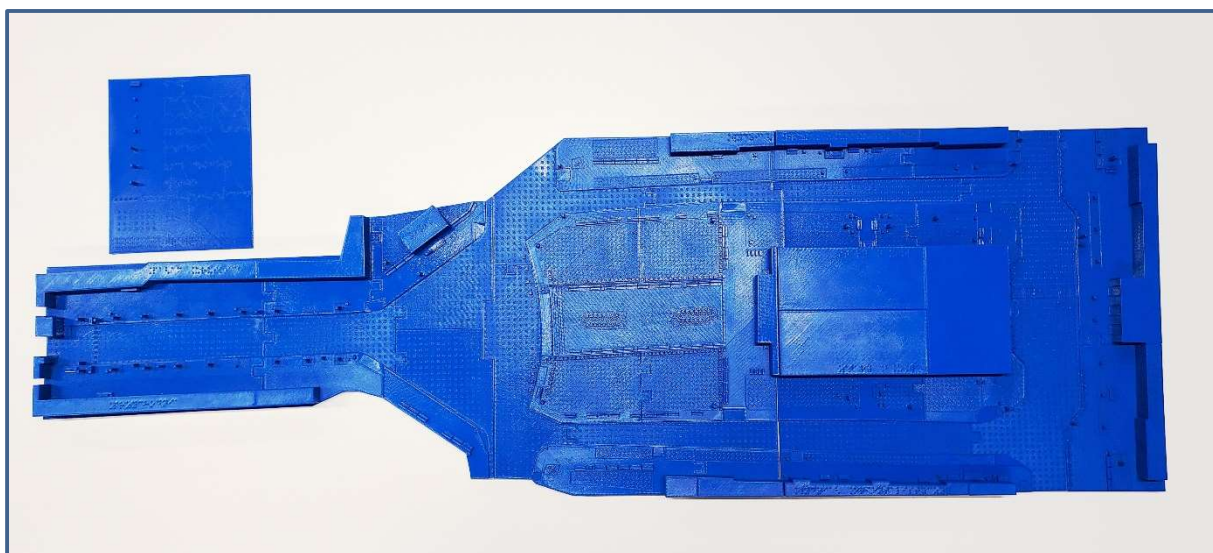
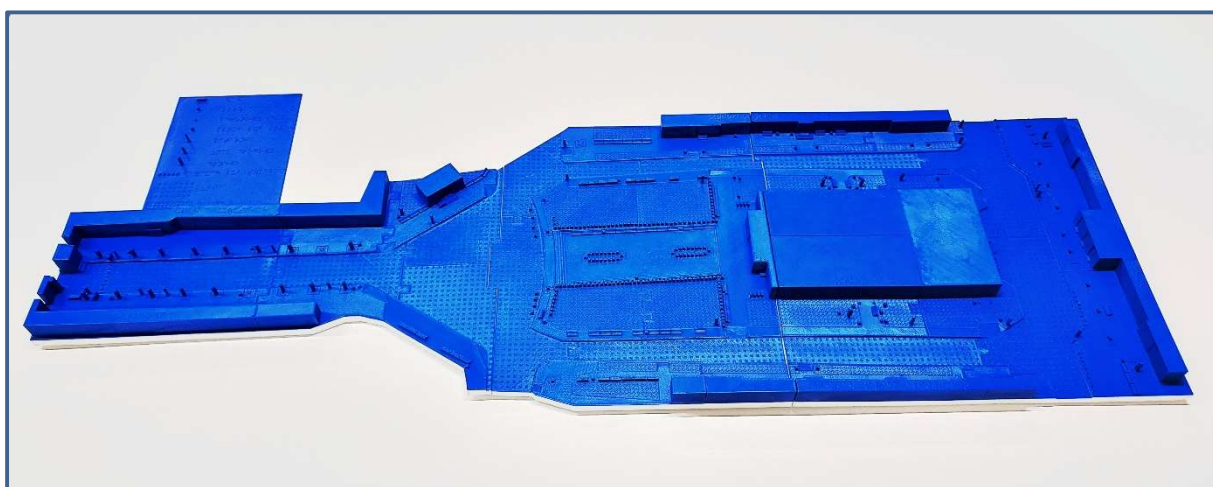
– przykłady realizacji: mapy 3D, tyflomakiety

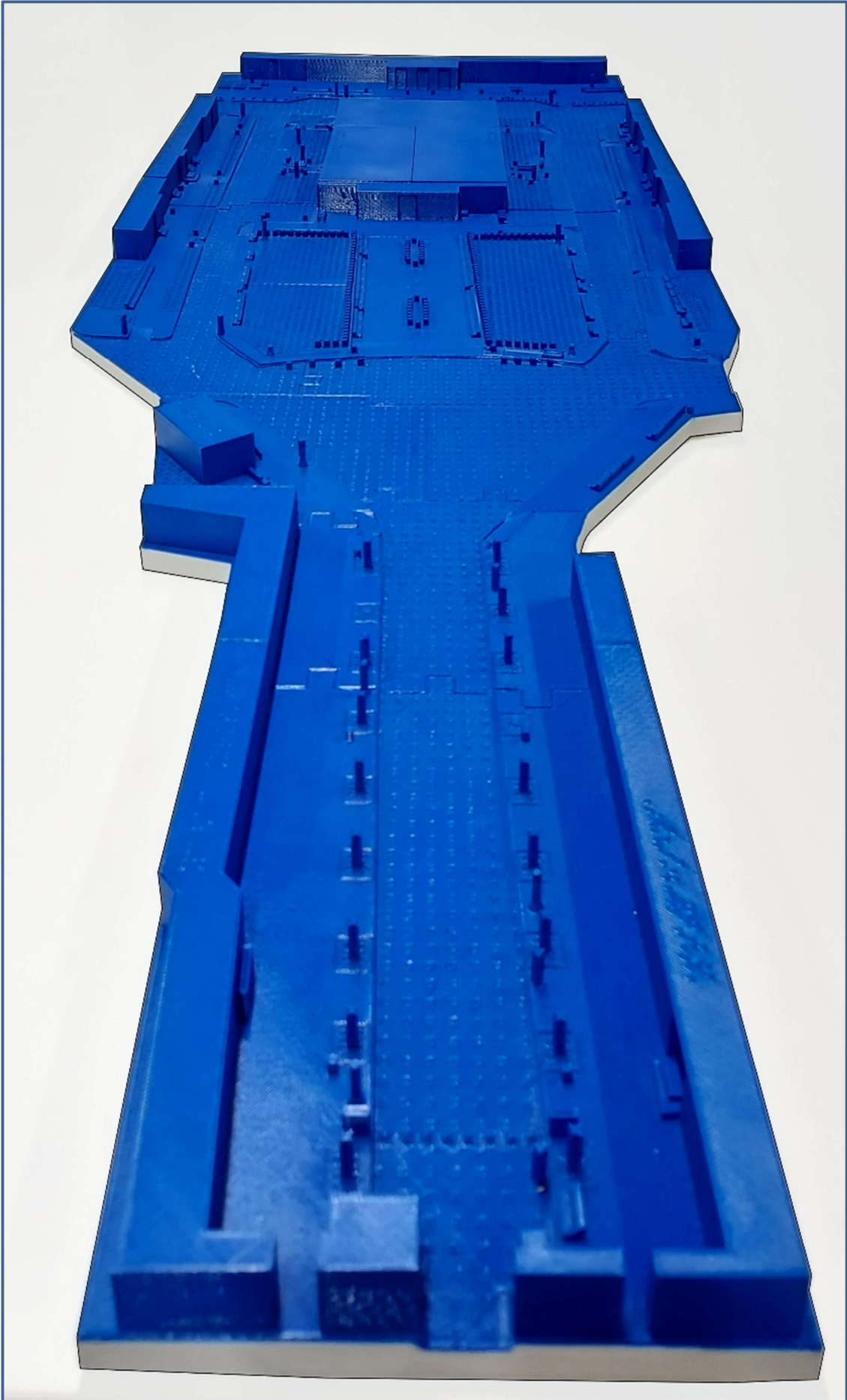
Fot. 1. Tyflomakieta: fragment ulicy Krakowskie Przedmieście w skali 1:200 (112 cm x 36 cm). Przedstawiony fragment prezentuje odcinek pomiędzy przystankami autobusowymi obu kierunków. W części centralnej znajduje się brama główna prowadząca na Kampus Główny Uniwersytetu warszawskiego. Na mapie odwzorowano rzeczywisty układ przestrzeni, budynków i elementów stałych. Specjalnymi fakturami oraz symbolami 3D oznaczono elementy przestrzeni mogące pełnić rolę elementów służących orientacji przestrzennej osób niewidomych. Makieta stanowi pomoc w nauce orientacji przestrzennej osób uczących się samodzielnego poruszania się w tym obszarze.





Fot. 2. Tyflomakieta: centralny fragment Kampusu Głównego Uniwersytetu Warszawskiego w skali 1:150 (o wymiarach 95 cm x 32 cm). Na makiecie odwzorowano rzeczywisty układ przestrzeni, budynków i elementów stałych. Przedstawiony fragment prezentuje główne budynki uczelni znajdujące się na kampusie, wraz z wejściami, chodniki, oraz przeszkody z jakimi osoby niewidome mogą mieć do czynienia (m.in. znaki, słupy, ławki, kosze, słupki, drzewa, krzewy itp.). Specjalnymi fakturami oraz symbolami 3D oznaczono elementy mogące pełnić rolę elementów służących orientacji przestrzennej osób niewidomych. Makieta stanowi pomoc w nauce orientacji przestrzennej osób uczących się samodzielnego poruszania się w tym obszarze.





Bibliografia

Albin. K. (2023), Kamila Albin, Raport z badania możliwości zastosowania technologii druku 3D w tworzeniu planów i map dotykowych służących nauce orientacji przestrzennej i wykorzystania modeli przestrzennych w edukacji osób niewidomych, Warszawa, kwiecień 2023, link: <https://www.cewis.uw.edu.pl> [dostęp: 2023.11.25].

Brajlowska notacja matematyczna fizyczna chemiczna (2011), Brajlowska notacja matematyczna fizyczna chemiczna wyd. II, Kraków, Łódź 2011, link: <https://www.ore.edu.pl/2012/02/ujednolicone-zasady-adaptacji-i-notacji-brajlowskiej/> [dostęp: 2023.11.25].

Budowlane abc, Standardy projektowania budynków dla osób z niepełnosprawnościami. Poradnik opublikowany na stronach Ministerstwa Rozwoju i Technologii, link: <https://budowlaneabc.gov.pl/standardy-projektowania-budynkow-dla-osob-niepelnosprawnych/> [dostęp: 2023.11.25].

Jakubowski M. (2009), Tyflografika – historia i współczesność, metody i technologie, Tyfloświat nr 1/ 2009. <https://tyfloswiat.pl/czasopismo/tyfloswiat-1-2009/tyflografika-historia-i-wspolczesnosc-metody-i-technologie-marek-jakubowski/> [dostęp 09.03.2023].

Kłopotowska A., Kłopotowski M. (2018a), Kłopotowska Agnieszka, Kłopotowski Maciej: w przestrzeniach polskich miast. Cz. 1, Standardy, 2018, Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, link: <https://bazawiedzy.pb.edu.pl/info/book/BUT97b80ed6bb31421c80b9e3bd715f7962/> [dostęp: 2023.11.25].

Kłopotowska A., Kłopotowski M. (2018b), Kłopotowska Agnieszka, Kłopotowski Maciej: Dotykowe modele architektoniczne w przestrzeniach polskich miast. Cz. 2, Realizacje, 2018, Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, link: <https://bazawiedzy.pb.edu.pl/info/book/BUT363d5c0d625a44798600a81abec6d49a/> [dostęp: 2023.11.25].

Kończyk D. (2011), „Zasady adaptacji materiałów dydaktycznych do potrzeb osób słabowidzących” pod redakcją Donaty Kończyk, Warszawa 2011, link: <https://cewis.uw.edu.pl/zasady-adaptacji-materialow-dydaktycznych-do-potrzeb-osob-slabowidzacych/> [dostęp: 2023.11.25].

Kowalski K. (2018), Kamil Kowalski „Włącznik – projektowanie bez barier”, Fundacja Integracja we współpracy ze Skanska, <https://integracja.org/wp-content/uploads/2023/06/Wlacznik-projektowanie-bez-barier-2018.pdf> [dostęp: 2023.11.25].

Kuczyńska-Kwapisz J. i Kwapisz J. (1990) Orientacja przestrzenna i poruszanie się niewidomych oraz słabowidzących. Warszawa: WSiP.

Kuczyńska-Kwapisz J., Śmiechowska-Petrovskij E. (2017), Orientacja przestrzenna i poruszanie się osób z niepełnosprawnością narządu wzroku. Współczesne techniki, narzędzia i strategie nauczania. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe UKSW.

Polski Związek Niewidomych (2016), Polski Związek Niewidomych, Instytut Tyflogiczny, „Projektowanie i adaptacja przestrzeni publicznej do potrzeb osób niewidomych i słabowidzących – zalecenia i przepisy”, Warszawa 2016, link: <https://pzn.org.pl/wp-content/uploads/2015/10/Projektowanie-i-adaptacja-przestrzeni-do-potrzeb-os%C3%B3b-niewidomych-i-s%C5%82abowidz%C4%85cych-pe%C5%82na-wersja.pdf> [dostęp: 2023.11.25].

Stasiak A., Śledzińska J., Włodarczyk B. (2014), „Szlaki turystyczne od pomysłu do realizacji”, praca zbiorowa pod red. Andrzeja Stasiaka, Jolanty Śledzińskiej, Bogdana Włodarczyka, Warszawa – Łódź 2014, s. 431, link: <https://www.academia.edu/25628425/> [dostęp 2024.11.25].

Więckowska Z. (2003), Projekt zasad redagowania rysunku i ilustracji dla niewidomego. [w:] A. Kaczmarek, red., Nowoczesne techniki kształcenia dzieci niewidomych i słabowidzących. Europejska konferencja, Owińska, 25-26.04.2003 r., ss. 80-88. <https://www.ore.edu.pl/2012/02/ujednolicone-zasady-adaptacji-i-notacji-brajlowskiej/> [dostęp 09.03.2023].

Więckowska Z. (2009), Zasady redagowania tyflografiki. Tyfloświat nr 3(5) 2009. <https://tyfloswiat.pl/czasopismo/tyfloswiat-3-2009/zasady-redagowania-tyflografiki-elzbieta-wieckowska-fsk/> [dostęp 09.03.2023].

Więckowska Z. (2011), Instrukcja tworzenia i adaptowania ilustracji i materiałów tyflograficznych dla uczniów niewidomych, pod. red. s. E. Więckowskiej, Bydgoszcz, Laski, Kraków, Owińska 2011, s. 6.

Wdówik Paweł red. (2011), Zasady adaptacji materiałów dydaktycznych do wersji brajlowskiej, Uniwersytet Warszawski, Biuro ds. Osób Niepełnosprawnych, Warszawa, <https://cewis.uw.edu.pl/zasady-adaptacji-materialow-dydaktycznych-do-potrzeb-osob-niewidomych/> [dostęp: 2023.11.25].

Zasady tworzenia i adaptowania grafiki dla uczniów niewidomych (2011), Opracowane przez nauczycieli Specjalnych Ośrodków Szkolno-Wychowawczych dla Niewidomych i Słabowidzących w Polsce. <https://www.ore.edu.pl/2012/02/ujednolicone-zasady-adaptacji-i-notacji-brajlowskiej/> [dostęp 09.03.2023].

Ustawy i inne akty prawne

Konwencja ONZ o Prawach Osób Niepełnosprawnych, przyjęta przez Zgromadzenie Ogólne Narodów Zjednoczonych 13 grudnia 2006 roku, rząd Polski podpisał ją 20 marca 2007 r., natomiast ratyfikacja Konwencji przez Polskę miała miejsce 6 września 2012 r. Tekst Konwencji opublikowany został w Dz. U. z dnia 25 października 2012 r., poz. 1169.

Ustawa z dnia 19 lipca 2019 r. o zapewnianiu dostępności osobom ze szczególnymi potrzebami (Dz. U. 2019 poz. 1696).

Ustawa z dnia 4 kwietnia 2019 r. o dostępności cyfrowej stron internetowych i aplikacji mobilnych podmiotów publicznych (Dz.U. 2019 poz. 848).

Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1, wytyczne dotyczące dostępności treści internetowych, <https://www.w3.org/Translations/WCAG21-pl/> [dostęp: 2023.11.25].