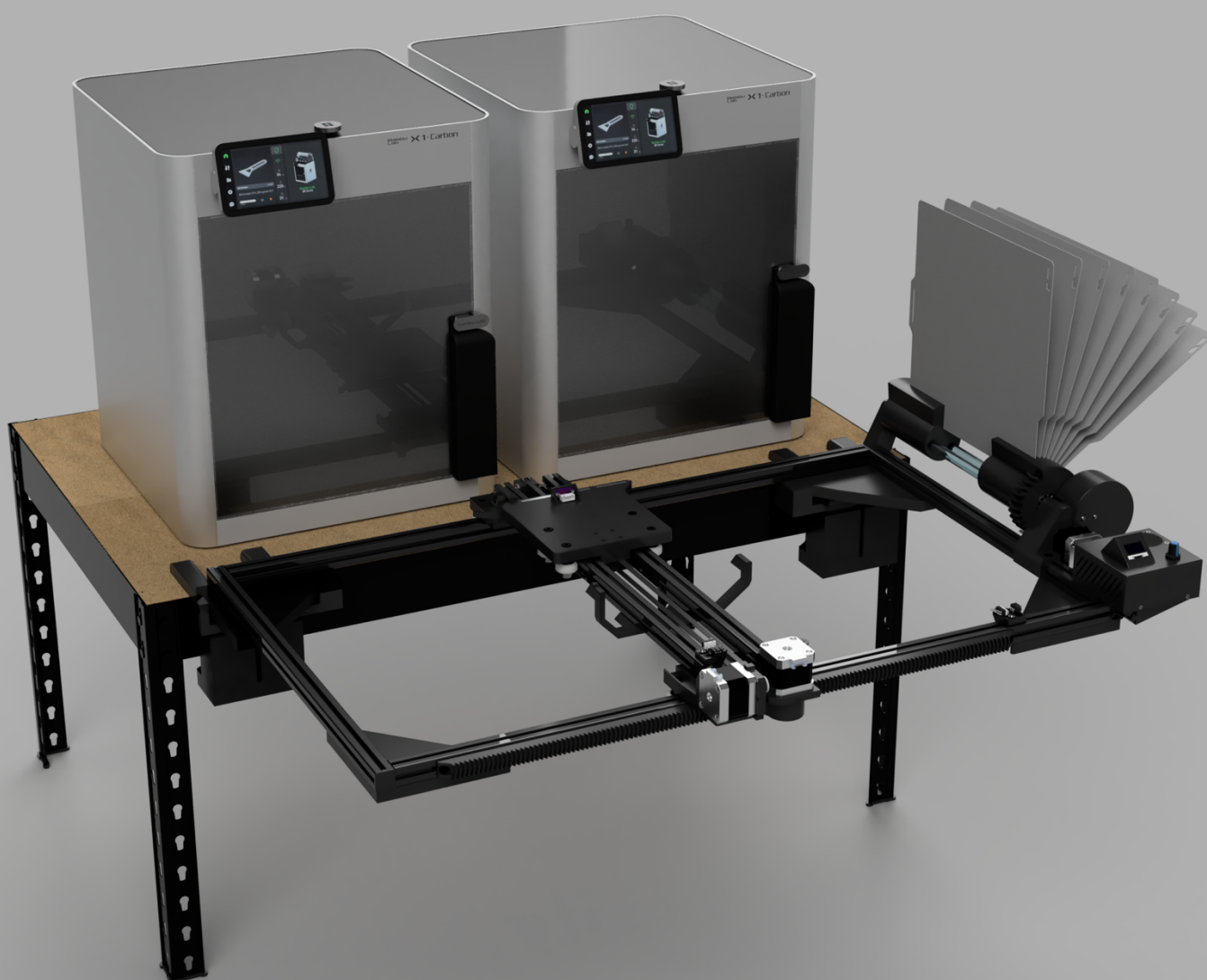


# Urządzenie do automatycznej zmiany platform roboczych drukarek 3D



## Spis treści

<b>Wstęp</b> .....	<b>3</b>
<b>Mechanika</b> .....	<b>3</b>
<b>Rama</b> .....	<b>4</b>
<b>Wózek tylny</b> .....	<b>5</b>
<b>Wózek przedni</b> .....	<b>6</b>
<b>Głowica</b> .....	<b>7</b>
<b>Mechanizm zrzutu</b> .....	<b>8</b>
<b>Magazynek platform</b> .....	<b>9</b>
Konstrukcja .....	9
Przekładnia .....	10
<b>Obudowa elektroniki</b> .....	<b>12</b>
<b>Mocowanie</b> .....	<b>13</b>
<b>Pozostałe</b> .....	<b>15</b>
Sposób montażu rolek V-Slot .....	15
Ograniczniki krańcowe .....	16
<b>Elektronika</b> .....	<b>17</b>
<b>Zasilanie</b> .....	<b>18</b>
<b>Mikrokontroler</b> .....	<b>18</b>
<b>Sterowniki silników</b> .....	<b>19</b>
<b>Silniki krokowe</b> .....	<b>19</b>
<b>Złącza i peryferia</b> .....	<b>19</b>
<b>Wentylacja i ochrona</b> .....	<b>19</b>
<b>Program sterujący</b> .....	<b>20</b>
<b>Podstawowe osie i funkcje ruchu</b> .....	<b>20</b>
<b>Webowy interfejs użytkownika</b> .....	<b>20</b>
<b>Funkcje automatyczne dostępne z poziomu strony</b> .....	<b>21</b>
<b>Możliwości dalszego rozwoju</b> .....	<b>21</b>
<b>Zestawienia części</b> .....	<b>21</b>
<b>Link do zdjęć i filmów prototypu:</b> .....	<b>24</b>
<b>Wykaz rysunków</b> .....	<b>24</b>
<b>Wykaz tabel</b> .....	<b>25</b>
<b>Bibliografia pomocnicza</b> .....	<b>25</b>

## Wstęp

Celem niniejszego projektu było zaprojektowanie oraz zbudowanie prototypu **urządzenia do automatycznej zmiany platform roboczych drukarek 3D**. Rozwiązanie to odpowiada na realne potrzeby operatorów farm druku 3D, którzy zmagają się z ograniczoną automatyzacją procesu wymiany platform – szczególnie w przypadku małych i średnich przedsiębiorstw, gdzie wdrożenie drogich systemów zrobotyzowanych jest ekonomicznie nieuzasadnione.

Opracowane urządzenie stanowi uniwersalny, skalowalny i niskokosztowy system kompatybilny z popularnymi modelami drukarek 3D, zarówno z otwartą, jak i zamkniętą komorą roboczą. Projekt łączy w sobie elementy **mechaniki, elektroniki oraz programowania**, co czyni go przykładem kompletnego rozwiązania mechatronicznego.

Poniższa dokumentacja techniczna przedstawia szczegóły konstrukcyjne, elektroniczne oraz programowe opracowanego systemu, wraz z wynikami testów funkcjonalnych przeprowadzonych w warunkach produkcyjnych.

## Mechanika

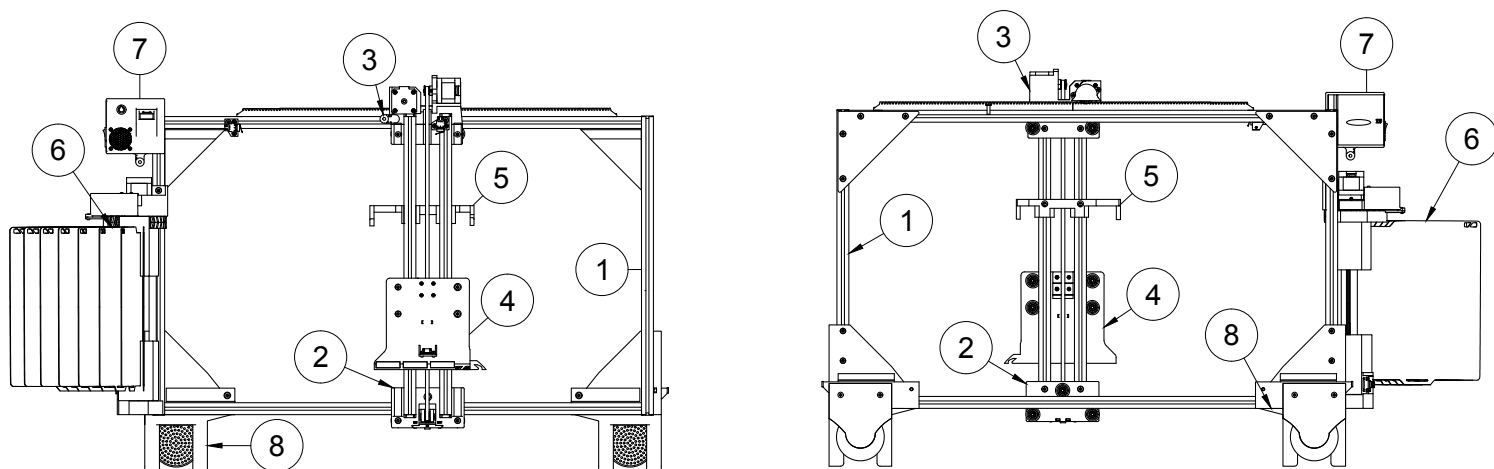
Konstrukcja mechaniczna urządzenia została zaprojektowana z myślą o niezawodności, modularności oraz prostocie wykonania przy użyciu popularnych technologii wytwarzania, takich jak druk 3D i montaż z profili aluminiowych. Główne elementy systemu to: **rama nośna, głowica robocza, wózki jezdne (przedni i tylny), magazynek platform, obudowa elektroniki, mocowanie urządzenia do stołu roboczego oraz pozostałe elementy pomocnicze**, takie jak osłony, prowadnice i uchwyty przewodów.

Urządzenie porusza się w dwóch osiach (X i Y) za pomocą wózków osadzonych na rolkach, które przemieszczają głowicę nad drukarkami. Głowica odpowiedzialna jest za precyzyjne zdejmowanie oraz zakładanie platform roboczych z drukarki 3D, a także – w zależności od modelu drukarki – otwieranie i zamykanie komory roboczej. Kluczowym elementem systemu jest **wachlarzowy magazynek**, który pozwala na przechowywanie do ośmiu platform o standardowym formacie 256 × 256 mm. Platformy są pozycjonowane za pomocą mechanizmu z silnikiem krokowym i przekładnią, zapewniając wysoką dokładność działania.

Całość została zaprojektowana w programie **Autodesk Fusion 360**, a wszystkie części przeznaczone do wydruku 3D zostały zoptymalizowane pod kątem trwałości, czasu druku oraz zużycia materiału. W konstrukcji zastosowano wyłącznie ogólnodostępne komponenty mechaniczne, co znacząco obniża koszty produkcji i ułatwia serwisowanie. Konstrukcja urządzenia umożliwia również łatwe skalowanie poprzez wydłużenie profili oraz zastosowanie dłuższej listwy zębatej, dzięki czemu system może obsługiwać większą

Lista modułów	
lp.	Nazwa modułu
1	Rama
2	Wózek tylny
3	Wózek przedni
4	Głowica
5	Mechanizm zrzutu
6	Magazynek platform
7	Obudowa elektroniki
8	Mocowanie

liczbę drukarek. Poniżej, na **Rys. 1** przedstawiono widok ogólny urządzenia wraz z oznaczeniem modułów.



Rysunek 1 Widok ogólny urządzenia wraz z oznaczeniem elementów, Widok z góry i z dołu

W kolejnych podrozdziałach szczegółowy opisano budowę i funkcje poszczególnych modułów systemu.

## Rama

Rama stanowi główną konstrukcję nośną urządzenia, odpowiadającą za jego sztywność, stabilność oraz precyzyjne prowadzenie ruchomych komponentów. Została wykonana z aluminiowych profili V-Slot o przekroju 2020. W konfiguracji bazowej wykorzystywane są cztery profile o długości 500 mm (krótsze boki) oraz dwa profile o długości 800 mm (dłuższe boki), przy czym istnieje możliwość łatwego zastosowania dłuższych profili w celu skalowania systemu – np. obsługi większej liczby drukarek.

Profile zostały połączone za pomocą **drukowanych w technologii FDM kątowników narożnych**, które posiadają dedykowane rowki dopasowane do kształtu profili aluminiowych, co zapewnia zachowanie kąta prostego oraz wysoką precyzję montażu. Każdy z czterech narożników posiada **inny kształt** – dostosowany do swojej funkcji i strony montażowej. Kątowniki przednie (oznaczone jako **F L** i **F R**) mają uproszczoną konstrukcję, natomiast kątowniki tylne (**B L** i **B R**) pełnią dodatkowo funkcję **zawiasów**, umożliwiających składanie całej konstrukcji w płaszczyźnie ramy. Taka możliwość znacznie ułatwia transport, przechowywanie oraz serwisowanie urządzenia.

Elementy łączące zostały skręcone za pomocą śrub i nakrętek młoteczkowych wsuwanych w rowki profili, co zapewnia trwałe, a jednocześnie rozbieralne połączenia.

Na ramie zamontowane są na stałe elementy takie jak:

- obie strony wachlarzowego magazynku platform,
- czujniki krańcowe osi X i Y,
- obudowa z elektroniką sterującą.

Dodatkowo, na przednim profilu ramy znajduje się **listwa zębata**, odpowiadająca za napęd w osi Y. Listwa ta została zaprojektowana w sposób umożliwiający **modułowe wydłużanie** – kolejne segmenty można łatwo dodrukować i przedłużyć całość, co pozwala na zwiększenie obszaru roboczego urządzenia bez konieczności ingerowania w pozostałe elementy konstrukcji.

Po ramie poruszają się wózki jezdne, na których osadzone są dwa dodatkowe krótkie profile (również 500 mm), stanowiące prowadnice dla głowicy w osi poprzecznej (X). Dzięki tej konstrukcji głowica uzyskuje dostęp do pełnego obszaru roboczego urządzenia.

Poniżej przedstawiono szczegółowy rysunek ramy z oznaczeniem zastosowanych kątowników:



Rysunek 2 Rozmieszczenie profili i typy zastosowanych kątowników, Widok z góry i z dołu.

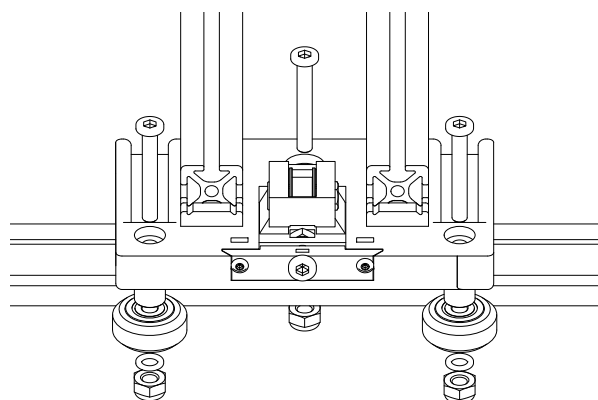
## Wózek tylny

Wózek tylny porusza się wzdłuż **osi Y**, po tylnym profilu ramy. Pełni on funkcję **pasywnego elementu prowadzącego** oraz **nośnego** – do jego konstrukcji zamocowane są dwa poprzeczne profile aluminiowe, po których przemieszcza się głowica robocza w osi X.

Wózek opiera się na **trzech rolkach V-slot**, z czego dwie są zamontowane na stałe, a trzecia osadzona jest na **mimośrodowym dystansie**. Dzięki temu możliwa jest regulacja siły docisku rolek do profilu oraz eliminacja ewentualnych luzów, co przekłada się na stabilną i cichą pracę urządzenia.

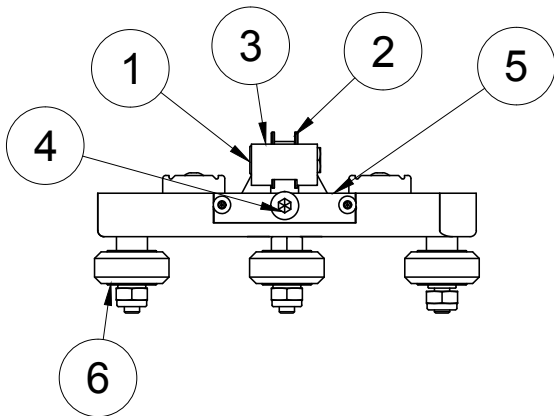
Choć wózek sam nie posiada silnika, jest wyposażony w **regulowany naciąg** dla pasa zębatego GT2, który zapewnia odpowiednie napięcie napędu w osi Y. Napinacz ten został zamocowany w sposób umożliwiający łatwą i precyzyjną regulację za pomocą śruby.

Warto zaznaczyć, że czujniki krańcowe osi Y nie są zamontowane bezpośrednio na wózku, lecz bezpośrednio do konstrukcji ramy – do aluminiowego profilu V-slot. Takie rozwiązanie zapewnia większą uniwersalność i brak potrzeby prowadzenia większej ilości przewodów.



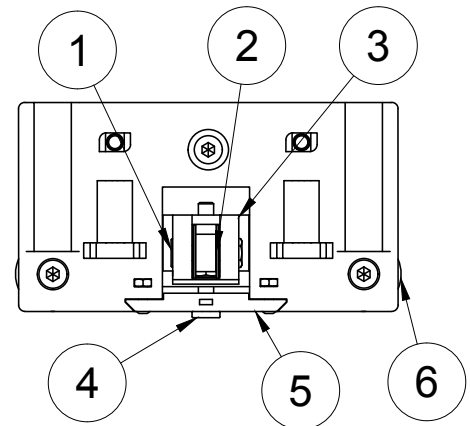
Rysunek 3 Wózek tylny, Widok izometryczny

Wózek tylny, oprócz swojej funkcji jezdnej, przenosi na sobie dwa poziome profile osi X, które biegną dalej w stronę wózka przedniego. To po nich na rolkach przemieszcza się głowica.



Rysunek 4 Wózek tylny, Widok z tyłu

Lista Części	
Ip.	Nazwa
1	Śruba koła pasowego
2	Koło pasowe
3	Mocowanie koła pasowego
4	Śruba naciągu
5	Zawleczka naciągu
6	Rolka V-Slot



Rysunek 5 Wózek tylny, Widok z góry

## Wózek przedni

Wózek przedni jest jednym z dwóch głównych elementów jezdnych poruszających się wzdłuż osi Y, po przednim profilu ramy. W przeciwieństwie do wózka tylnego pełni on funkcję **napędową** oraz **sterującą ruchem głowicy w obu osiach roboczych**.

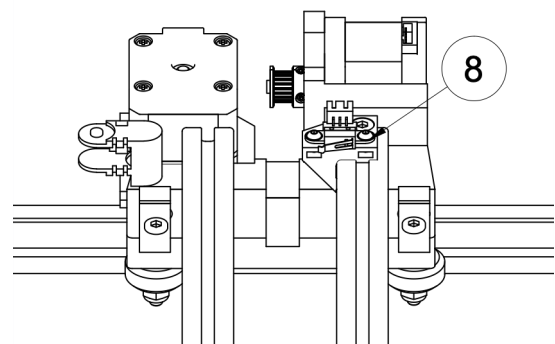
Na wózku przednim zamontowane są dwa **silniki krokowe NEMA17**:

- **Pierwszy silnik** odpowiada za napęd w osi Y. Jest połączony z **zębatką daszkową**, która zazębia się z przymocowaną do ramy **listwą zębatą**. Dzięki zastosowaniu geometrii daszkowej, napęd cechuje się dużą płynnością ruchu oraz eliminuje ryzyko luzów i opadania przedniej części prowadnicy osi X. Sama zębatka zabezpieczona jest osłoną.
- **Drugi silnik** napędza oś X za pośrednictwem **pasa zębatego GT2**, przesuując głowicę po dwóch poprzecznych profilach aluminiowych łączących wózek przedni z tylnym.

Wózek porusza się na **dwóch rolkach V-slot**, zamontowanych na **mimośrodkowym dystansie** umożliwiającym precyzyjną regulację docisku. Wszystkie elementy wózka zostały zaprojektowane z myślą o wysokiej trwałości i możliwości pracy ciągłej.

Na jednym z poziomych profili osi X, tuż przy wózku przednim, znajduje się **czujnik krańcowy osi Y** – odpowiada on za precyzyjne pozycjonowanie oraz procedurę bazowania urządzenia. Umieszczenie czujnika na profilu poprzecznym, a nie bezpośrednio na ramie, ułatwia jego kalibrację i dostosowanie do różnych długości osi.

Na wózku znajduje się również **mocowanie do prowadnika kablowego**, który prowadzi

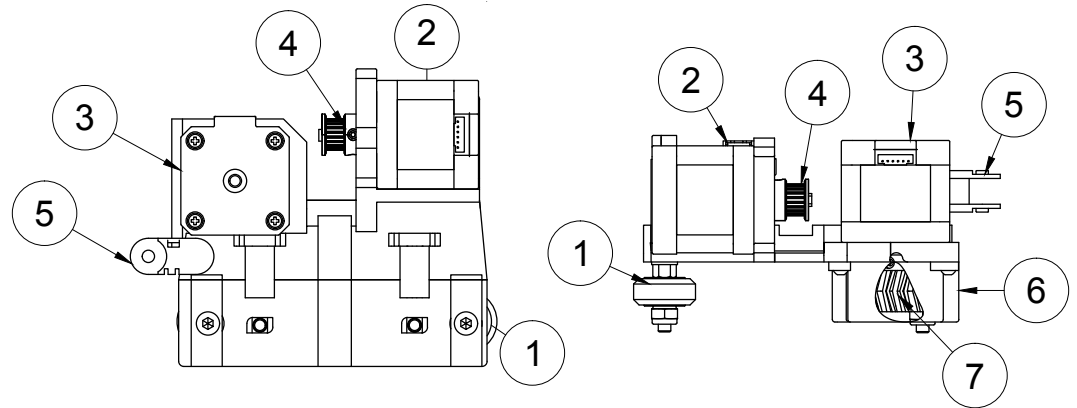


Rysunek 6 Wózek przedni, Widok izometryczny

przewody zasilające i sygnałowe do głowicy. Takie rozwiązanie zapewnia bezpieczną pracę urządzenia i eliminuje ryzyko uszkodzenia przewodów podczas ruchu.

Wózek przedni, wraz z tylnym, stanowi punkt mocowania dla poziomych profili osi X i tworzy stabilną, dwupunktowo podpartą konstrukcję, po której przemieszcza się głowica robocza.

Lista Części	
lp.	Nazwa
1	Rolka V-Slot
2	Silnik krokowy X
3	Silnik krokowy Y
4	Koło pasowe GT2
5	Mocowanie przewodnika kablowego
6	Osłona zębatki
7	Zębatka
9	Czujnik krańcowy X

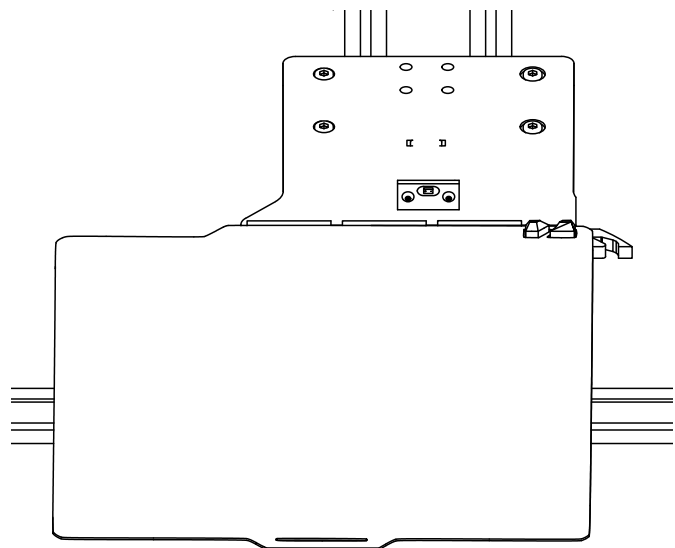


Rysunek 7 Wózek przedni, Widok z góry i z przodu

## Głowica

Głowica jest kluczowym elementem wykonawczym urządzenia, odpowiedzialnym za **chwytnie, przenoszenie oraz odkładanie platform roboczych** drukarek 3D. Porusza się wzdłuż osi X po dwóch równoległych profilach aluminiowych zamocowanych między wózkiem przednim i tylnym.

Konstrukcja głowicy opiera się na **czterech rolkach V-slot**, które toczą się w rowkach aluminiowych prowadnic. Dwie z tych rolek osadzone są na **mimośrodkowych dystansach**, co umożliwi precyzyjną regulację docisku i eliminację luzów. Z przodu głowicy znajdują się **dwa wysunięte bolce montażowe**, służące do pewnego i precyzyjnego uchwycenia platformy roboczej. Aby zagwarantować prawidłowe pozycjonowanie platformy w każdej sytuacji, w tylnej części głowicy umieszczono otwory na **trzy magnesy neodymowe**, które przyciągają metalowe platformy i zapewniają dokładne osadzenie bez przesunięć. Nie wszystkie otwory muszą zostać wykorzystane, jest to zależne od wielkości i materiału platformy. Takie rozwiązanie znacząco redukuje ryzyko błędnego montażu platformy i poprawia powtarzalność procesu.



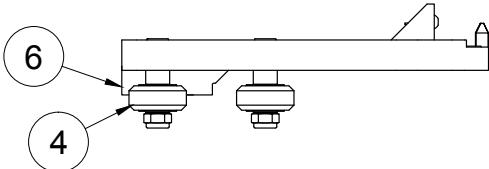
Rysunek 8 Głowica, Widok izometryczny

Z lewej strony głowicy znajduje się **zintegrowany chwytak do otwierania komór drukarek 3D**, przystosowany do manipulowania drzwiczkami komory roboczej. Umożliwia to automatyczne otwieranie i zamykanie komór urządzeń, które wymagają utrzymania temperatury w środowisku druku, co jest szczególnie istotne przy pracy z filamentami inżynieryjnymi.

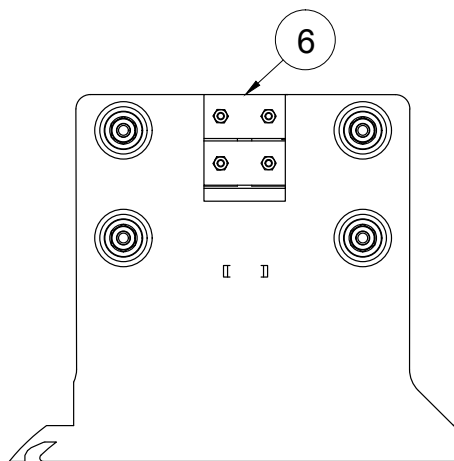
Dodatkowo, w centralnej części głowicy znajduje się **dedykowane mocowanie dla modułu LiDAR**, który wykorzystywany jest do precyzyjnej kalibracji pozycji względem drukarki. LiDAR pełni funkcję pomiarową – pozwala wykryć odległość do elementów konstrukcyjnych drukarki i automatycznie koryguje trajektorię głowicy, zapewniając wysoką powtarzalność procesu niezależnie od ewentualnych przesunięć drukarek na stanowisku.

Napęd głowicy realizowany jest za pomocą **pasa zębatego GT2**, prowadzonego wzdłuż osi X. Pas ten jest napędzany przez silnik krokowy NEMA17 umieszczony na wózku przednim. Zamocowany jest on w dolnej części głowicy i zabezpieczony śrubami.

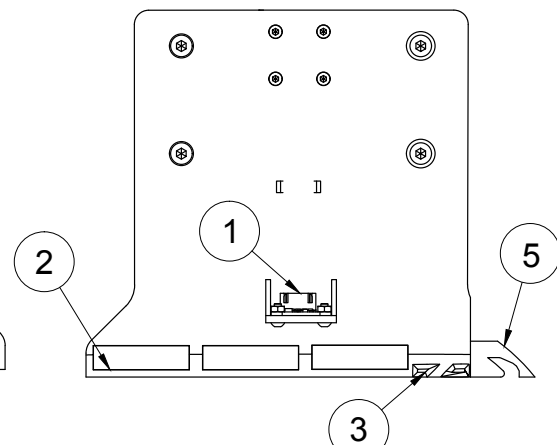
Lista Części	
lp.	Nazwa
1	Moduł LiDAR
2	Magnesy neodymowe
3	Bolce mocownicze
4	Rolki V-Slot
5	Chwytak drzwi komory
6	Mocowanie pasu GT2



Rysunek 13 Głowica, Widok z prawej



Rysunek 9 Głowica, Widok z dołu

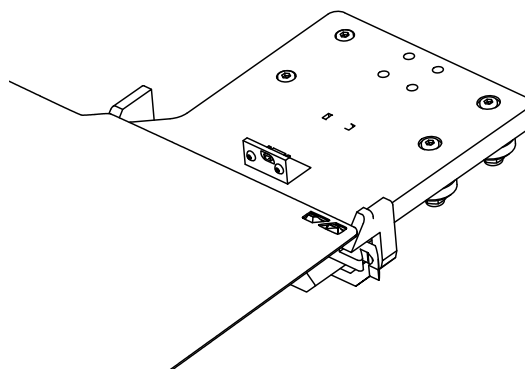


Rysunek 16 Głowica, Widok z góry

## Mechanizm zrzutu

Mechanizm zrzutu to pasywny moduł odpowiedzialny za **automatyczne odseparowanie platformy roboczej od głowicy** oraz jej skierowanie do pojemnika zbiorczego lub na pas transportowy. Jest to **element drukowany w technologii FDM**, zamocowany bezpośrednio do aluminiowych profili konstrukcyjnych ramy, na wysokości umożliwiającej swobodny przejazd głowicy.

Podczas pracy urządzenia, głowica po przechwyceniu platformy roboczej przemieszcza się w tył, aż do momentu, gdy platforma **najeżdża na pochylnię w kształcie rampy**, stanowiącą właściwy element mechanizmu zrzutu. Rampa została



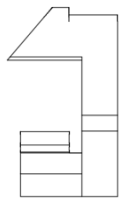
Rysunek 20 Mechanizm zrzutu - sposób działania

zaprojektowana w taki sposób, aby podczas kontaktu platformy z jej powierzchnią doszło do:

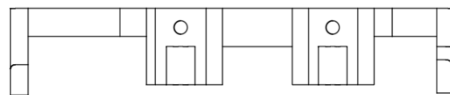
1. **Stopniowego uniesienia platformy względem bolców montażowych głowicy,**
2. **Zniwelowania siły przyciągania magnesów neodymowych,**
3. **Wymuszenia zrzutu przedniej części platformy.**

Dzięki odpowiednio dobranemu **kątowi nachylenia rampy oraz jej kształtowi**, platforma zostaje całkowicie oddzielona od głowicy i nie ma możliwości przypadkowego zablokowania na poprzecznych profilach prowadzących. Po zrzucie platforma kierowana jest w **prawo i w dół**, wprost do **pojemnika odbiorczego** lub – w zależności od konfiguracji – na **taśmociąg transportowy**.

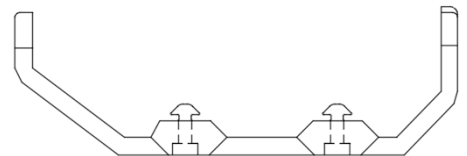
Rozwiązanie to nie wymaga aktywnego sterowania ani elementów napędowych – opiera się wyłącznie na geometrii i ruchu głowicy, co czyni je prostym, niezawodnym i łatwym w utrzymaniu. Mechanizm jest w pełni zintegrowany z konstrukcją urządzenia i może być w razie potrzeby łatwo modyfikowany (np. pod kątem innego formatu platform).



Rysunek 22 Mechanizm zrzutu, Widok z prawej



Rysunek 21 Mechanizm zrzutu, Widok z góry i z tyłu



## Magazynek platform

Magazynek platform odpowiada za przechowywanie zapasowych platform roboczych oraz ich precyzyjne dozowanie do głowicy w trakcie cyklu pracy. Umieszczony z boku urządzenia, po prawej stronie ramy, magazynek jest zamocowany bezpośrednio do konstrukcji nośnej i obraca się wokół osi X.

### Konstrukcja

Konstrukcja magazynku składa się z dwóch głównych, drukowanych w technologii FDM części:

- **Magazynek B (tylny)** – pełni funkcję nośną oraz podporową,
- **Magazynek F (przedni)** – odpowiada za dozowanie platform i obrót całości.

Obie części magazynku połączone są **dwiema rurkami poliwęglanowymi o średnicy 12 mm**, które są sztywne, lekkie, tanie i łatwe w obróbce. Każda z części posiada gniazda na **łożyska 61902**, które umożliwiają płynny, precyzyjny obrót całej konstrukcji przy minimalnym oporze.

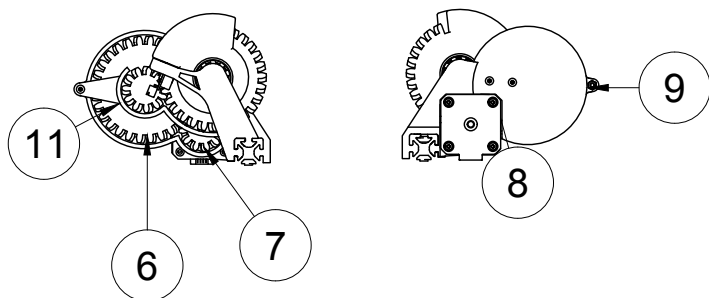
Za obrót magazynku odpowiada **trzeci silnik krokowy NEMA17**, umieszczony w dolnej części konstrukcji. Moment obrotowy przenoszony jest za pośrednictwem **zębatek daszkowych**, które zapewniają płynną i cichą pracę napędu, a przy tym eliminują luz osiowy charakterystyczny dla zwykłych przekładni czołowych.

W części tylnej magazynku (Magazynek B) znajduje się:

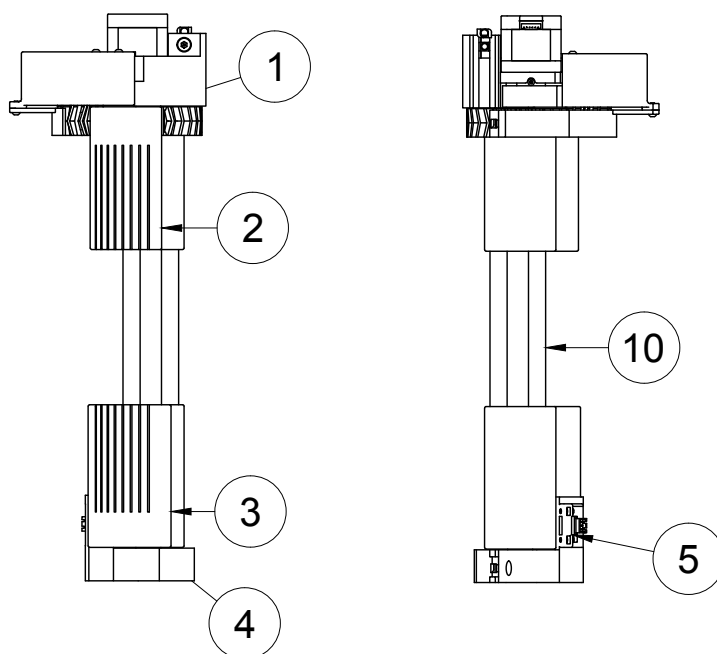
- **uchwyt czujnika krańcowego**, który wykrywa pozycję referencyjną (zerową) magazynku, co umożliwia jego precyzyjną kalibrację po każdym uruchomieniu systemu,
- **punkt podparcia konstrukcji**, który pozwala na bezpieczne osadzenie magazynku w pozycji spoczynkowej, odciążając silnik podczas bezczynności i wydłużając jego żywotność.

Lista Części	
Ip.	Nazwa
1	Mocowanie magazynku F
2	Magazynek F
3	Magazynek B
4	Mocowanie magazynku B
5	Czujnik krańcowy P
6	Zębatka zespolona
7	Zębatka silnika
8	Silnik NEMA17
9	Ośłona zębatki zespolonej
10	Rurki poliwęglanowe
11	Ośłona zębatki zespolonej 2

Sam magazynek mieści do **ośmiu platform roboczych o wymiarach 256 × 256 mm**, rozmieszczonych wachlarzowo w równych odstępach kątowych. Dzięki takiej konstrukcji możliwy jest szybki i precyzyjny dostęp do dowolnej platformy oraz jej pobranie przez głowicę bez potrzeby zmiany pozycji całego urządzenia. Pozwala to także na oszczędność miejsca w porównaniu z innymi rozwiązaniami.



Rysunek 24 Magazynek, Widok z tyłu i z przodu



Rysunek 23 Magazynek, Widok z góry i z dołu

## Przekładnia

Napęd wachlarzowego magazynku platform realizowany jest za pomocą silnika krokowego NEMA17, współpracującego z przekładnią zębatą. Głównym celem układu jest zapewnienie wystarczającego momentu wyjściowego, umożliwiającego utrzymanie magazynku w równowadze oraz płynne pozycjonowanie platform.

### Założenia:

- Masa pojedynczej platformy:  $m = 0,22 \text{ kg}$
- Liczba platform:  $n = 8$
- Środek masy każdej platformy oddalony o  $r = 136,92 \text{ mm}$  od osi obrotu (połowa długości  $273,84 \text{ mm}$ )
- Przyspieszenie ziemskie:  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- Kąt między skrajnymi platformami:  $\alpha = 55^\circ$

Moment pojedynczej platformy wynosi:

$$M = F \cdot r \cdot \sin \theta_i = m \cdot g \cdot r \cdot \sin \theta_i$$

Gdzie  $\theta_i$  – kąt odchylenia i-tej platformy od pionu.

Ponieważ platformy są rozmieszczone równomiernie w zakresie od  $90^\circ$  do  $90^\circ - \alpha = 35^\circ$ , można wyznaczyć krok kątowy jako:

$$\Delta\theta = \frac{\alpha}{n - 1}$$

Wynosi więc on:  $\Delta\theta = \frac{55^\circ}{7} = 7,857^\circ$

Wówczas kąty poszczególnych platform względem pionu wynoszą:

$$\theta_i = 90^\circ - (i - 1) \cdot \Delta\theta \quad \text{dla } i = [1; 8]$$

Łączny moment siły wyrazić można więc wzorem:

$$M_{\text{całk.}} = \sum_{i=1}^8 m \cdot g \cdot r \cdot \sin \theta_i$$

Po podstawieniu danych:

$$M_{\text{całk.}} \approx 2,21 \text{ Nm}$$

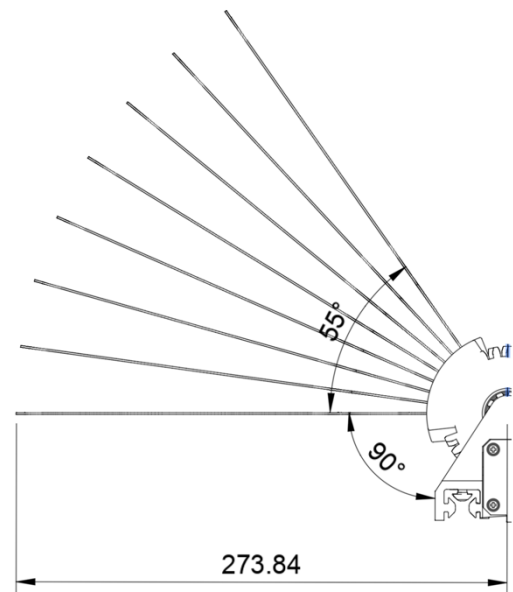
Zatem minimalny moment obrotowy, który musi zostać pokonany przez układ napędowy (lub utrzymany przez silnik), wynosi **2,21 Nm**.

Minimalny moment trzymający zastosowanego silnika krokowego NEMA17 wynosi:

$$M_{\text{silnika}} = 0,40 \text{ Nm}$$

Aby silnik był w stanie utrzymać obciążenie w równowadze, wymagane przełożenie przekładni zębatej wynosi:

$$i = \frac{M_{\text{obciążenia}}}{M_{\text{silnika}}} = \frac{2,21}{0,40} = 5,525$$



Rysunek 25 Kątowe rozmieszczenie platform magazynku względem pionu

Zastosowana przekładnia posiada 2 etapy:

1. Zębatka silnika (11 zębów) napędza większą zębatkę zębataki zespolonej (28 zębów) generując przełożenie 1:2,55,
2. Mniejsza zębatka zębataki zespolonej (11 zębów) napędza zębatkę magazynku (28 zębów) generując przełożenie 1:2,55.

Całkowite przełożenie wynosi:

$$i_{\text{całk.}} = 2,55 \cdot 2,55 = 6,48: 1$$

Zastosowane przełożenie **zapewnia wymagany moment wyjściowy z zapasem bezpieczeństwa** około 17%. Dzięki temu system jest odporny na przeciążenia i zmiany mas platform, a silnik pracuje w bezpiecznym zakresie bez ryzyka utraty kroków.

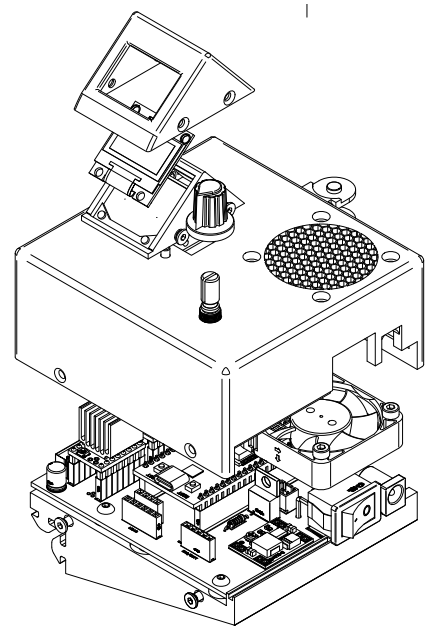
### Obudowa elektroniki

Obudowa elektroniki pełni funkcję osłony i elementu montażowego dla płyty głównej (PCB) sterującej całym urządzeniem. Została zaprojektowana z myślą o **funkcjonalności, bezpieczeństwie oraz efektywnym chłodzeniu podzespołów**, które w trakcie pracy mogą generować znaczną ilość ciepła.

Całość wykonana jest metodą druku 3D i montowana w przednim, prawym narożniku urządzenia – w sposób trwały, a jednocześnie umożliwiający łatwy demontaż serwisowy.

Konstrukcja obudowy uwzględnia szereg dedykowanych otworów i funkcji:

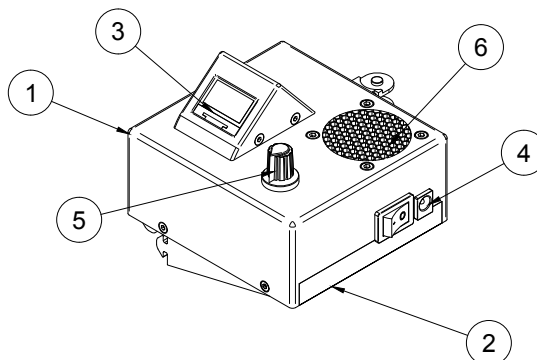
- **otwory montażowe na gniazdo zasilania oraz przełącznik główny,**
- **przewodzenie przewodów** do silników krokowych, czujników krańcowych oraz modułu LiDAR
- **dedykowany otwór na enkoder z przyciskiem,** umożliwiający ręczne sterowanie i konfigurację urządzenia,
- **mocowanie wyświetlacza OLED,** ustawione pod ergonomicznym kątem ułatwiającym odczyt parametrów pracy i obsługę interfejsu,
- **miejsce na wentylator chłodzący,** wyposażone w **ochronną siatkę w strukturze plastra miodu,** która chroni wewnątrz obudowy przed zanieczyszczeniami, kurzem i drobnymi odłamkami.



Rysunek 26 Obudowa elektroniki, Widok eksplodowany

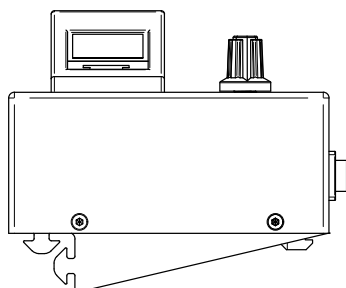
Z boków obudowy znajdują się **powiększone, wyprofilowane wloty powietrza**. Ich forma została zaprojektowana z dbałością o estetykę i jednocześnie pełni istotną funkcję w procesie chłodzenia elektroniki – zwłaszcza **sterowników silników krokowych**, które podczas dłuższej pracy mogą osiągać podwyższone temperatury.

Lista Części	
lp.	Nazwa
1	Obudowa część górna
2	Obudowa część dolna
3	Ekran OLED
4	Enkoder z przyciskiem
5	Gniazdo zasilające i włącznik
6	Wentylator

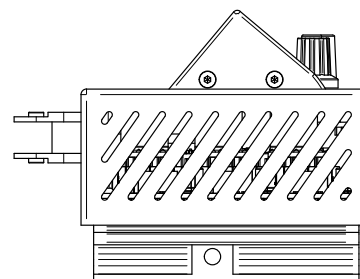


Rysunek 27 Obudowa elektroniki, Widok izometryczny

Wnętrze obudowy zostało przystosowane do bezpiecznego osadzenia płytki PCB – zastosowano precyzyjnie rozmieszczone punkty montażowe, które gwarantują stabilne zamocowanie układu elektronicznego, zapobiegając jego przesuwaniu się lub uszkodzeniu podczas pracy i transportu. Dzięki połączeniu funkcjonalności, przemyślanej wentylacji oraz dopracowanej formy, obudowa spełnia jednocześnie **wymagania techniczne i estetyczne**, stanowiąc spójną część całej konstrukcji urządzenia.



Rysunek 29 Obudowa elektroniki, Widok z przodu



Rysunek 28 Obudowa elektroniki, Widok z lewej

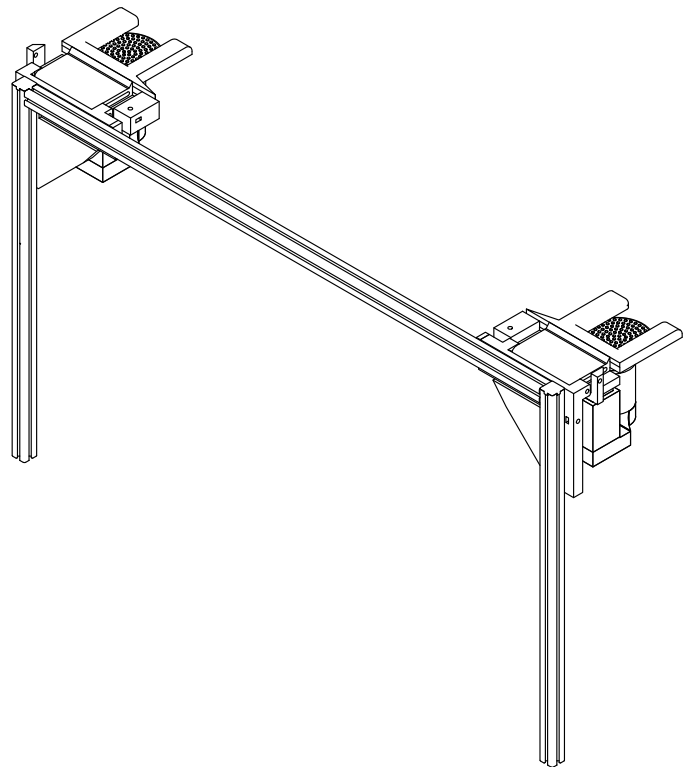
## Mocowanie

System mocowania urządzenia do powierzchni roboczej został zaprojektowany z myślą o **stabilności, mobilności oraz maksymalnej uniwersalności**. Pozwala on na szybkie i bezpieczne przytwierdzenie konstrukcji do stołów, blatów roboczych lub regałów o grubości do **50 mm**, przy jednoczesnej możliwości szybkiego składania całego urządzenia do pozycji transportowej lub serwisowej.

Mocowanie składa się z zespołu elementów drukowanych 3D, zamocowanych symetrycznie po obu stronach tylnej części ramy. Każdy zestaw składa się z trzech głównych komponentów:

- **Kątownik B** – narożnik konstrukcyjny, stanowiący punkt podparcia dla całego mocowania,
- **Zawias** – umożliwiający składanie urządzenia,
- **Zacisk** – odpowiedzialny za stabilne przytwierdzenie do powierzchni blatu.

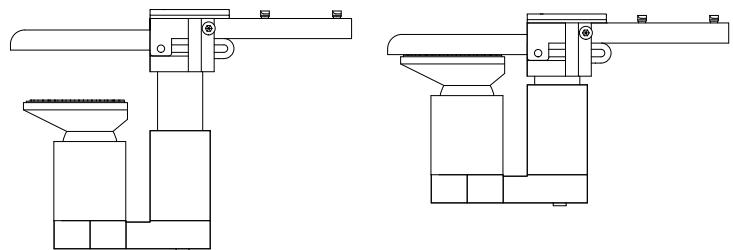
Przez otwór w elemencie **Kątownik B** oraz profilowaną prowadnicę w części **Zawias** przechodzi **pręt stalowy o średnicy 5 mm**, który pełni funkcję osi obrotu. Dzięki specjalnie ukształtowanej geometrii prowadnicy w zawiasie, możliwe jest złożenie całego urządzenia w dół – wystarczy je lekko pociągnąć do siebie. W pozycji złożonej konstrukcja zajmuje bardzo niewiele miejsca, co ułatwia transport, przechowywanie oraz dostęp do wnętrza drukarek.



Rysunek 30 Mocowanie, pozycja złożona

Aby zabezpieczyć urządzenie w pozycji rozłożonej, w konstrukcji zawiasów przewidziano **otwory montażowe pod dodatkowe śruby blokujące**, które zapewniają sztywność i brak luzów podczas pracy.

**Zacisk** oparty jest na systemie prowadnic zintegrowanych z zawiasem. W ich wnętrzu przesuwana jest **śruba dociskowa**, której dokręcenie powoduje zaciskanie się mocowania na blacie. Dzięki zastosowaniu śruby z dużym skokiem możliwe jest precyzyjne i silne dociśnięcie bez konieczności używania dużej siły.

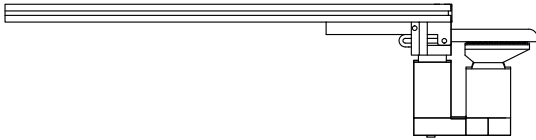


Rysunek 31 Zacisk, Widok z prawej, zacisk otwarty i zaciśnięty

Dolna część zacisku, mająca bezpośredni kontakt z blatem, została pokryta **gumową, chropowatą powierzchnią antypoślizgową**, która:

- zapewnia wysokie tarcie i brak przesuwania się urządzenia w trakcie pracy,
- chroni powierzchnię przed zarysowaniami,
- dodatkowo tłumi drgania mechaniczne.

Wszystkie części mocowania, z wyjątkiem prętów i śrub, zostały wykonane w technologii druku 3D. Cały mechanizm cechuje się wysoką sztywnością i niezawodnością, nawet przy długotrwałym użytkowaniu w środowisku przemysłowym.

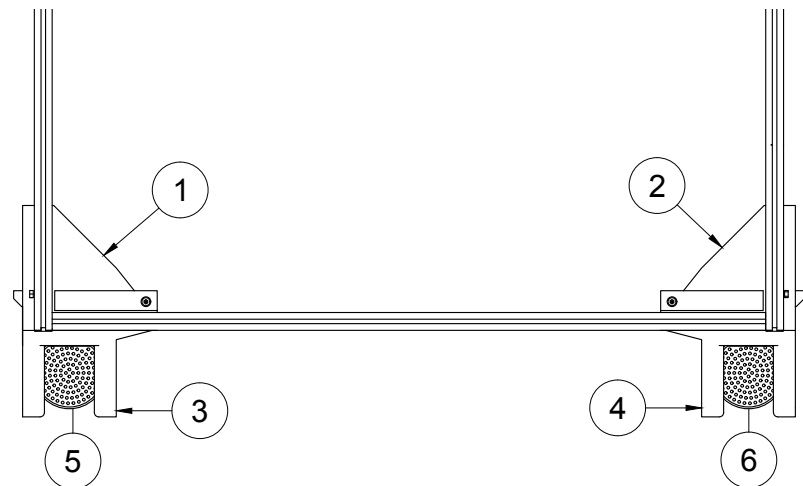


Rysunek 34 Mocowanie, Widok z prawej



Rysunek 33 Mocowanie, Widok z tyłu

Lista Części	
lp.	Nazwa
1	Kątownik B R
2	Kątownik B L
3	Zawias R
4	Zawias L
5	Zacisk R
6	Zacisk L



Rysunek 32 Mocowanie, Widok z góry

## Pozostałe

### Sposób montażu rolek V-Slot

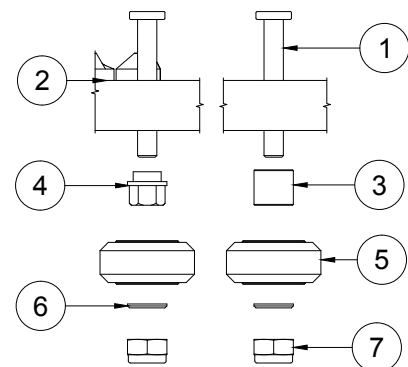
Rolki toczne typu V-Slot stanowią kluczowy element prowadzenia osi urządzenia. Ich odpowiedni montaż wpływa bezpośrednio na płynność ruchu oraz stabilność całej konstrukcji. Poniżej przedstawiono schemat dwóch typowych konfiguracji montażowych: z tuleją mimośrodową oraz z dystansem stałym.

### Budowa zespołu rolki

Każda rolka montowana jest za pomocą śruby M5 przechodzącej przez otwór w elemencie drukowanym 3D (część nośna). W zależności od pozycji rolki stosuje się:

- **Dystans aluminiowy (3)** – element o stałej wysokości 9 mm, zapewniający równoległe prowadzenie rolki względem profilu aluminiowego.
- **Tuleję mimośrodową (4)** – umożliwiającą regulację docisku rolki do profilu poprzez obrót jej mimośrodowego otworu.

Lista Części	
lp.	Nazwa
1	Śruba M5
2	Część drukowana 3D
3	Dystans aluminiowy 9mm
4	Tuleja mimośrodowa
5	Rolka V-Slot
6	Podkładka M5 1mm
7	Nakrętka samohamująca M5



Na śrubę nasadzana jest rolka V-Slot (5), następnie cienka podkładka M5 (6) o grubości 1 mm zabezpieczająca łożysko, a cały zestaw dokręcany jest **nakrętką samohamującą M5 (7)**, zapobiegającą samoczynnemu luzowaniu się połączenia.

### Funkcja regulacji

Tuleja mimośrodowa (stosowana zwykle w jednej z dwóch rolek danego prowadzenia) umożliwia precyzyjne dociśnięcie zestawu rolek do profilu V-Slot. Dzięki temu możliwe jest:

- eliminowanie luzów w prowadzeniu,
- kompensacja tolerancji wydruków 3D i profili,
- zapewnienie odpowiedniego oporu toczenia bez nadmiernego tarcia.

Tuleje mimośrodowe montowane są zazwyczaj w dolnej części wózków, natomiast dystanse w górnej – co ułatwia regulację dostęp od spodu urządzenia.

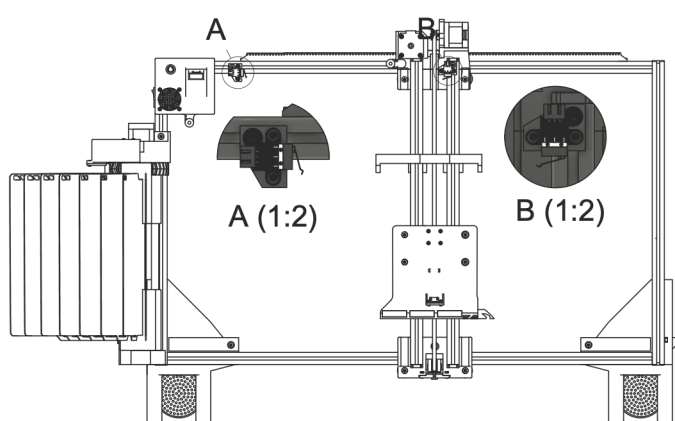
### Zastosowanie

Ten sposób montażu został wykorzystany we wszystkich częściach urządzenia, które poruszają się po profilach aluminiowych. Powtarza się on w trzech kluczowych elementach:

- **Głowica**
- **Wózek przedni**
- **Wózek tylny**

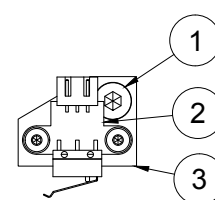
### Ograniczniki krańcowe

W celu precyzyjnego wykrywania położenia zerowego osi X i Y, w urządzeniu zastosowano dwa mechaniczne czujniki krańcowe montowane za pomocą specjalnie zaprojektowanych uchwytów drukowanych 3D. Ich lokalizację przedstawiono na rysunku głównym (widoki A i B).

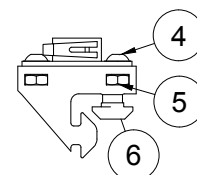


Rysunek 35 Rozmieszczenie czujników krańcowych

Lista Części	
lp.	Nazwa
1	Śruba M5x8
2	Czujnik krańcowy
3	Mocowanie drukowane 3D
4	Śruba M3x6
5	Nakrętka M3
6	Nakrętka młoteczkowa



Rysunek 37 Czujnik krańcowy w mocowaniu, Widok z góry



Rysunek 36 Czujnik krańcowy w mocowaniu, Widok z tyłu

### *Konstrukcja zestawu*

Każdy czujnik krańcowy (2) przykręcany jest do uchwyty drukowanego (3) za pomocą dwóch śrub M3x6 (4) i nakrętek M3 (5), osadzonych w gniazdach wbudowanych w model 3D. Następnie cały zespół mocowany jest do profilu aluminiowego za pomocą śruby M5x8 (1) oraz nakrętki młoteczkowej (6), która umożliwia szybki i regulowany montaż w rowku prowadzącym profilu V-Slot.

### *Cechy rozwiązania*

- Montaż umożliwia łatwe pozycjonowanie czujnika wzdłuż profilu bez konieczności modyfikacji mechanicznych.
- Konektor sygnałowy czujnika pozostaje dostępny od góry, co ułatwia podłączenie przewodów.
- Kompaktowy uchwyt eliminuje wystające elementy i umożliwia montaż nawet w ciasnych przestrzeniach.
- Wydrukowany element 3D został zoptymalizowany pod kątem wytrzymałości i wymiarów, zapewniając pewne osadzenie czujnika bez luzów.

### *Zastosowanie*

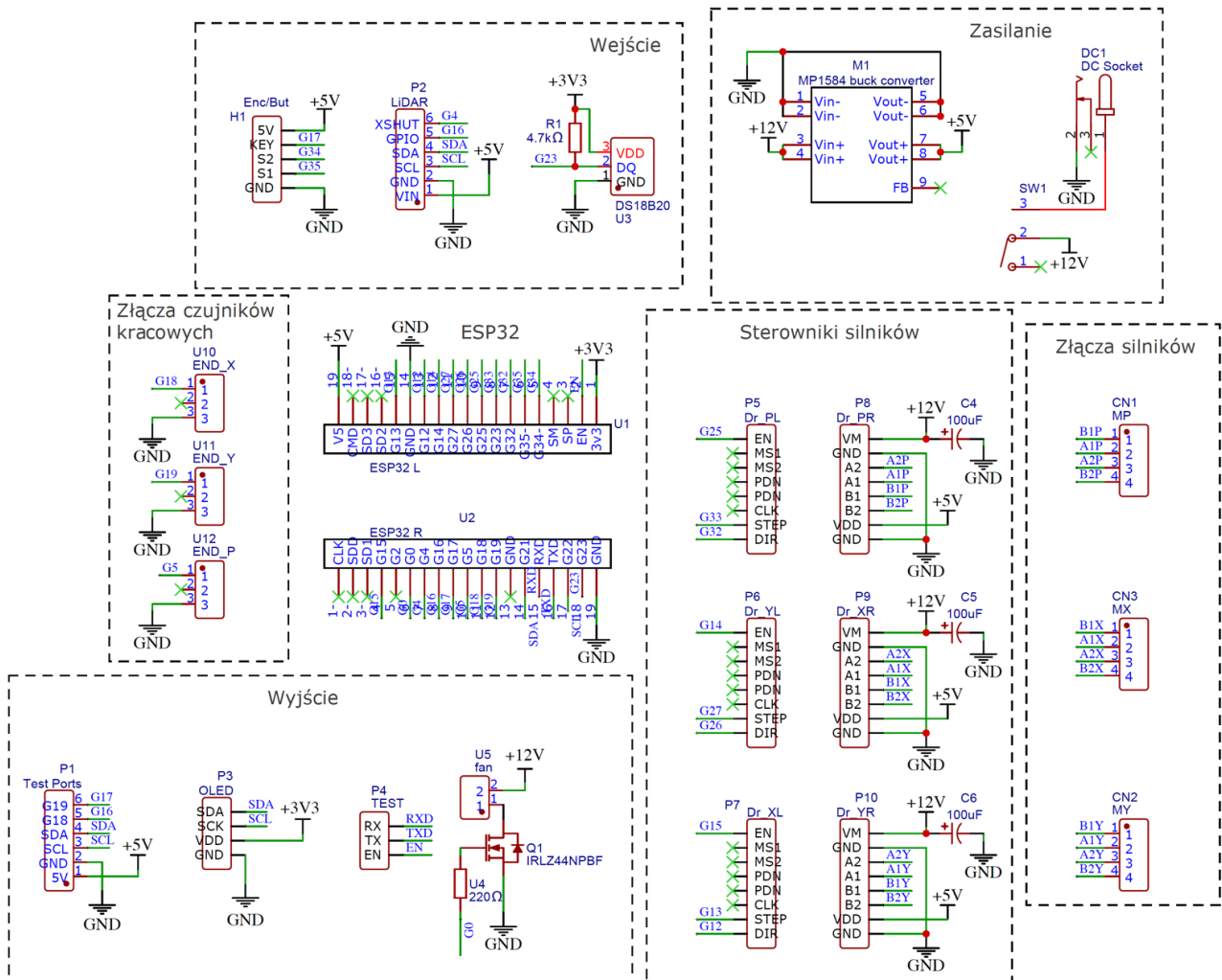
Oba czujniki są identyczne i zostały rozmieszczone w następujących miejscach:

- **Widok A (OY):** Czujnik krańcowy osi Y, montowany przy ramie urządzenia wykrywający krańcową pozycję wózka przedniego.
- **Widok B (OX):** Czujnik krańcowy osi X, montowany przy wózku przednik wykrywający krańcową pozycję głowicy

## Elektronika

Układ elektroniczny urządzenia został zaprojektowany z myślą o niezawodności oraz łatwej diagnostyce i serwisowaniu. Głównym modulem sterującym jest ESP32 WROOM, który odpowiada za kontrolę silników, obsługę czujników, komunikację z peryferiami oraz interakcję z użytkownikiem.

Schemat systemu przedstawiono poniżej:



Rysunek 38 Szczegółowy schemat elektroniczny z podziałem na segmenty

## Zasilanie

Zasilanie całego systemu dostarczane jest z zewnętrznego zasilacza **12 V DC**, podłączanego przez gniazdo zasilania DC typu barrel jack, umieszczone w obudowie elektroniki. Napięcie to jest następnie obniżane przez przetwornicę buck **MP1584** do poziomu **5 V**, niezbędnego do zasilania mikrokontrolera, czujników i wyświetlacza.

## Mikrokontroler

Centralną jednostką sterującą systemem jest **ESP32 WROOM** – dwurdzeniowy mikrokontroler z komunikacją **Wi-Fi i Bluetooth**, podłączony do wyświetlacza, enkodera, czujników krańcowych oraz sterowników silników. Wszystkie połączenia sygnałowe oraz linie komunikacyjne zostały wyprowadzone na płytkę PCB z łatwym dostępem do pinów testowych i złączy serwisowych.

## Sterowniki silników

Za sterowanie trzema silnikami krokowymi odpowiadają trzy niezależne sterowniki **TMC2209**. Układy te znane są z bardzo cichej pracy oraz wysokiej dokładności pracy silnika dzięki interpolacji mikrokroków i aktywnej kontroli prądu. Każdy sterownik jest zasilany napięciem 12 V i wyposażony w kondensatory filtrujące (100  $\mu$ F), co poprawia stabilność pracy i ogranicza zakłócenia.

## Silniki krokowe

System napędzany jest trzema silnikami krokowymi NEMA17:

- silnik osi Y – napędzający listwę zębatą,
- silnik osi X – poruszający głowicę poprzez pas GT2,
- silnik magazynku – obracający wachlarzowy system platform.

## Złącza i peryferia

### Czujniki krańcowe

Trzy czujniki krańcowe firmy Lerdge (END\_X, END\_Y, END\_P) umożliwiają dokładne pozycjonowanie osi i zabezpieczają system przed przekroczeniem zakresów ruchu.

### Moduł LiDAR (VL53L1X)

Czujnik odległości VL53L1X, podłączony przez I2C, służy do automatycznej kalibracji głowicy względem pozycji drukarek.

### Enkoder (EC11)

Zamontowany na froncie obudowy enkoder EC11 z przyciskiem umożliwia ręczne sterowanie urządzeniem i obsługę menu systemowego.

### Wyświetlacz OLED

Do wizualizacji stanu pracy urządzenia użyto ekranu OLED 0,96" (I2C), zamocowanego w ergonomicznej pozycji pod kątem, ułatwiającym odczyt i obsługę.

### Złącza

Wszystkie połączenia przewodów wychodzących poza obudowę wykonano za pomocą złączy JST 4-pin i 3-pin, co ułatwia montaż, serwisowanie i szybkie podłączanie komponentów. Osobne złącza przewidziano dla silników i krańcowe.

## Wentylacja i ochrona

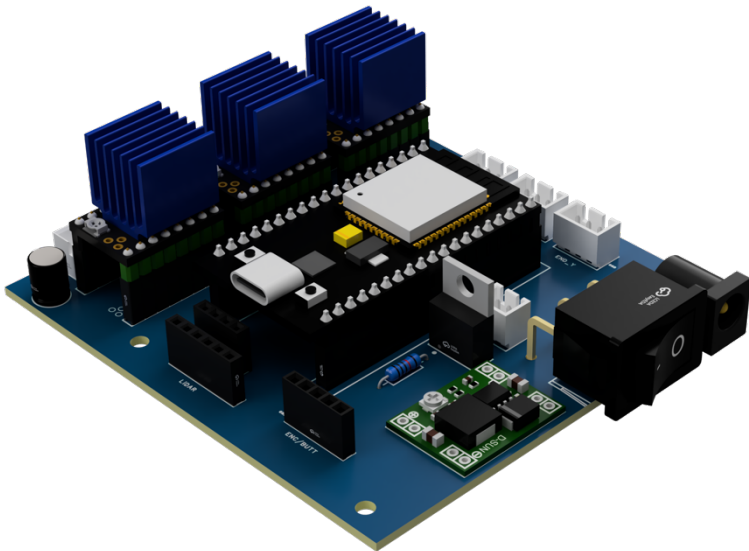
Obudowa elektroniki wyposażona jest w aktywny wentylator chłodzący, chroniony przez kratkę w strukturze plastra miodu, która zapobiega dostawaniu się zanieczyszczeń, kurzu i odłamków do wnętrza układu. Dodatkowo, po boku obudowy znajdują się wywietrzniki, które poprawiają naturalny obieg powietrza i wspomagają chłodzenie komponentów.

System chłodzenia działa w sposób automatyczny – aktywacja wentylatora realizowana jest przez tranzystor MOSFET IRLZ44NPBF, sterowany bezpośrednio z mikrokontrolera. Pomiar temperatury wewnątrz obudowy realizowany jest za pomocą cyfrowego czujnika DS18B20,

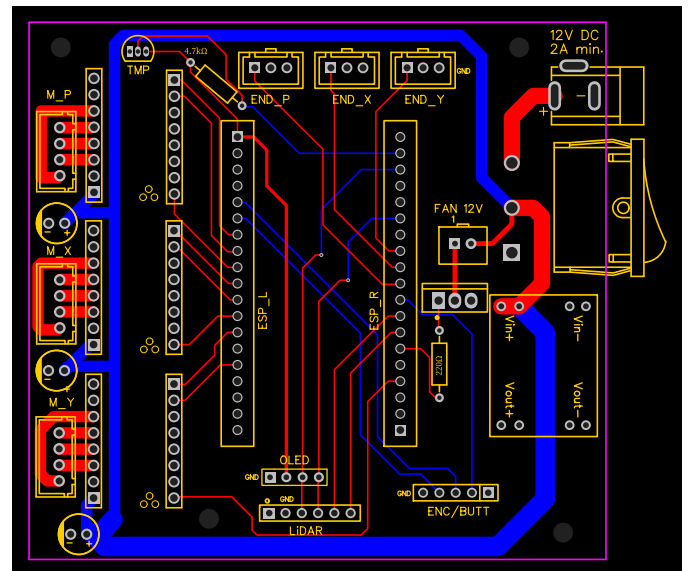
który zapewnia dokładność odczytu i pozwala na dynamiczne dostosowanie pracy wentylatora do aktualnych warunków termicznych.

Układ ten chroni szczególnie wrażliwe podzespoły, takie jak sterowniki silników krokowych, przed przegrzaniem i gwarantuje długotrwałą, niezawodną pracę całego systemu.

Poniżej przedstawiono umiejscowienie poszczególnych komponentów elektronicznych na płycie głównej oraz przebieg ścieżek.



Rysunek 39 Wizualizacja 3D płyty głównej



Rysunek 40 Projekt płytki PCB z rozmieszczeniem komponentów

## Program sterujący

Program napisany w języku C++ dla mikrokontrolera **ESP32** umożliwia zdalne sterowanie układem trzech silników krokowych (PL, YL, XL) za pomocą interfejsu webowego. Wersja testowa została przygotowana z myślą o zastosowaniu w zautomatyzowanym systemie do wymiany platformy roboczej drukarki 3D oraz obsługi magazynu płytek.

### Podstawowe osie i funkcje ruchu

- **PL (Platform Lift)** – odpowiada za pionowy ruch płytek (np. podnoszenie/opuszczanie platformy).
- **YL (Y-Axis)** – poziomy ruch płytek w kierunku wzdłużnym.
- **XL (X-Axis)** – ruch boczny płytek (prostopadle do Y).
- Każda oś posiada własną krańcówkę (endstop), co umożliwia precyzyjne homowanie.

### Webowy interfejs użytkownika

- Ręczne sterowanie pozycją każdego silnika (PL, YL, XL).
- Możliwość ustawienia parametrów prędkości i przyspieszenia.
- Podgląd aktualnych pozycji silników.
- Podgląd stanu krańcówek.
- Licznik numeru płytki (`plateNumber`) – automatycznie aktualizowany po załadunku.

## Funkcje automatyczne dostępne z poziomu strony

- Home All Motors – zerowanie wszystkich osi.
- Load Plate – załadunek kolejnej płytki z magazynu.
- Remove Plate – usunięcie płytki po wydruku.
- Open Chamber – otwarcie komory drukarki
- Close Chamber – zamknięcie komory drukarki
- Unload Platform From Printer - procedura ściągnięcia platformy z drukarki
- Load Platform To Printer - procedura ładowania platformy do drukarki

## Możliwości dalszego rozwoju

Projekt będzie rozwijany o:

- Wyświetlacz OLED (status systemu, menu).
- Enkoder do ręcznego sterowania i nawigacji po menu.
- LiDAR – do detekcji obecności drukarki i precyzyjnego pozycjonowania.
- API drukarki – do wykrywania zakończenia druku i uruchomienia automatycznej wymiany platformy.

### Stepper Motor Control Panel

#### Automated Actions

#### Manual Positioning

PL:

YL:

XL:

#### Speed and Acceleration

Speed:

Acceleration:

#### Plate Number:

0

#### Motor Positions:

PL: 0 | YL: 0 | XL: 0

#### Endstop Status:

PL: OPEN | YL: OPEN | XL: OPEN

*Zdjęcie 1 Podgląd strony*

Kod źródłowy dostępny jest pod poniższym adresem:

<https://github.com/Mecinios/PlateSwapper>

## Zestawienia części

Poniższe tabele przedstawiają elementy użyte przy produkcji urządzenia. Pierwsze dwie przedstawiają koszty prototypu, a kolejne koszty produkcji masowej. Łączny koszt prototypu to **875,36 zł brutto**, a koszt jednostki w produkcji seryjnej to **403,92 zł brutto**.

Nazwa	Liczba	Cena jednostkowa	Cena razem
MP1584	1	3,99 zł	3,99 zł
DC005 wtyk DC	1	2,20 zł	2,20 zł
SS11-BBIWJ-R30-R przełącznik	1	1,60 zł	1,60 zł
DS18B20 czujnik temperatury	1	3,25 zł	3,25 zł
Oporniki	2	0,10 zł	0,20 zł
VL53L1X LiDAR	1	14,00 zł	14,00 zł
Enkoder z przyciskiem	1	8,69 zł	8,69 zł
TMC2209 sterownik	3	24,59 zł	73,77 zł
Złącza JST	1	10,00 zł	10,00 zł
ESP32 WROOM	1	28,40 zł	28,40 zł
MOSFET IRLZ44NPBF	1	5,99 zł	5,99 zł
Wentylator 4010 12V	1	12,99 zł	12,99 zł
Kondensator 100uF	3	0,49 zł	1,47 zł
OLED 0,96	1	13,50 zł	13,50 zł
Złącza goldpin	1	4,58 zł	4,58 zł
Przewody	7	6,75	47,25
PCB	1	8,83 zł	8,83 zł
Czujniki krańcowe	3	6,49 zł	19,47 zł
Silniki NEMA17	3	17,99 zł	53,97 zł
<b>Suma</b>			<b>314,15 zł</b>

*Tabela 1 Kosztorys elementów elektronicznych wykorzystanych w wersji prototypowej urządzenia*

Nazwa	Liczba	Cena jednostkowa	Cena razem
Elektronika	1	314,15 zł	314,15 zł
Profile 800mm	2	34,70 zł	69,40 zł
Profile 500mm	4	20,90 zł	83,60 zł
Filament ABS 1kg	2	70,30 zł	140,60 zł
Rolki V Slot	9	8,50 zł	76,50 zł
Tuleje 9mm	9	3,10 zł	27,90 zł
Nakrętki samohamujące	9	0,38 zł	3,42 zł
Tuleje mimośrodowe	9	5,10 zł	45,90 zł
Podkładki	9	0,22 zł	1,98 zł
Pręt stalowy	2	1,00 zł	2,00 zł
Łożyska	3	1,98 zł	5,94 zł
Magnesy	3	7,99 zł	23,97 zł
Pas GT2	1	10,50 zł	10,50 zł
Śruby	1	40,00 zł	40,00 zł
Koło pasowe uzębione	1	10,40 zł	10,40 zł

Koło pasowe	1	9,10 zł	9,10 zł
Rurki poliwęglanowe	2	5,00 zł	10,00 zł
<b>Suma</b>			<b>875,36 zł</b>

Tabela 2 Kosztorys elementów wykorzystanych w wersji prototypowej urządzenia

Nazwa	Liczba	Cena jednostkowa	Cena razem
MP1584	1	0,92 zł	0,92 zł
DC005 wtyk DC	1	0,03 zł	0,03 zł
SS11-BBIWJ-R30-R przełącznik	1	0,64 zł	0,64 zł
DS18B20 czujnik temperatury	1	0,91 zł	0,91 zł
Oporniki	2	0,49 zł	0,98 zł
VL53L1X LiDAR	1	13,28 zł	13,28 zł
Enkoder z przyciskiem	1	1,84 zł	1,84 zł
TMC2209 sterownik	3	8,24 zł	24,72 zł
Złącza JST	1	3,23 zł	3,23 zł
ESP32 WROOM	1	10,09 zł	10,09 zł
MOSFET IRLZ44NPBF	1	0,53 zł	0,53 zł
Wentylator 4010 12V	1	0,85 zł	0,85 zł
Kondensator 100uF	3	0,12 zł	0,36 zł
OLED 0,96	1	5,31 zł	5,31 zł
Złącza goldpin	1	2,12 zł	2,12 zł
Przewody	7	4,12 zł	28,84 zł
PCB	1	8,83 zł	8,83 zł
Czujniki krańcowe	3	2,02 zł	6,06 zł
Silniki NEMA17	3	15,41 zł	46,23 zł
<b>Suma</b>			<b>155,77 zł</b>

Tabela 3 Koszty komponentów elektronicznych w produkcji seryjnej

Nazwa	Liczba	Cena jednostkowa	Cena razem
Elektronika	1	155,77 zł	155,77
Profile 800mm	2	5,74 zł	11,48 zł
Profile 500mm	4	3,72 zł	14,88 zł
Filament ABS 1kg	2	65,80 zł	131,60 zł
Rolki V Slot	9	0,89 zł	8,01 zł
Tuleje 9mm	9	0,37 zł	3,33 zł
Nakrętki samohamujące	9	0,03 zł	0,27 zł
Tujele mimośrodowe	9	0,64 zł	5,76 zł
Podkładki	9	0,01 zł	0,09 zł
Pręt stalowy	2	1,00 zł	2,00 zł
Łożyska	2	1,98 zł	3,96 zł

Magnesy	3	7,99 zł	23,97 zł
Pas GT2	1	3,19 zł	3,19 zł
Śruby	1	20,00 zł	20,00 zł
Koło pasowe uzębione	1	5,31 zł	5,31 zł
Koło pasowe	1	4,30 zł	4,30 zł
Rurki poliwęglanowe	2	5,00 zł	10,00 zł
<b>Suma</b>			<b>403,92 zł</b>

Tabela 4 Koszty komponentów w produkcji seryjnej

## Link do zdjęć i filmów prototypu:

Filmy i zdjęcia można obejrzeć pod podanym [łączeniem](#) lub po zeskanowaniu poniższego kodu QR.



## Wykaz rysunków

Rysunek 1 Widok ogólny urządzenia wraz z oznaczeniem elementów.....	4
Rysunek 2 Rozmieszczenie profili i typy zastosowanych kątowników.....	5
Rysunek 3 Wózek tylny, Widok izometryczny.....	5
Rysunek 4 Wózek tylny, Widok z tyłu.....	6
Rysunek 5 Wózek tylny, Widok z góry.....	6
Rysunek 6 Wózek przedni, Widok izometryczny.....	6
Rysunek 7 Wózek przedni, Widok z góry i z przodu.....	7
Rysunek 8 Głowica, Widok izometryczny.....	7
Rysunek 9 Głowica, Widok z dołu.....	8
Rysunek 10 Głowica widok z dołu.....	8
Rysunek 11 Głowica widok z dołu.....	8
Rysunek 12 Głowica widok z dołu.....	8
Rysunek 13 Głowica, Widok z prawej.....	8
Rysunek 14 Głowica widok z prawej.....	8
Rysunek 15 Głowica widok z prawej.....	8
Rysunek 16 Głowica, Widok z góry.....	8
Rysunek 17 Głowica widok z góry.....	8
Rysunek 18 Głowica widok z góry.....	8
Rysunek 19 Głowica widok z góry.....	8
Rysunek 20 Mechanizm zrzutu - sposób działania.....	8
Rysunek 21 Mechanizm zrzutu, Widok z góry i z tyłu.....	9
Rysunek 22 Mechanizm zrzutu, Widok z prawej.....	9
Rysunek 23 Magazynek, Widok z góry i z dołu.....	10
Rysunek 24 Magazynek, Widok z tyłu i z przodu.....	10
Rysunek 25 Kątowe rozmieszczenie platform magazynku względem pionu.....	11
Rysunek 26 Obudowa elektroniki, Widok eksplodowany.....	12
Rysunek 27 Obudowa elektroniki, Widok izometryczny.....	13

Rysunek 28 Obudowa elektroniki, Widok z lewej.....	13
Rysunek 29 Obudowa elektroniki, Widok z przodu .....	13
Rysunek 30 Mocowanie, pozycja złożona .....	14
Rysunek 31 Zacisk, Widok z prawej, zacisk otwarty i zaciśnięty .....	14
Rysunek 32 Mocowanie, Widok z góry .....	15
Rysunek 33 Mocowanie, Widok z tyłu .....	15
Rysunek 34 Mocowanie, Widok z prawej .....	15
Rysunek 35 Rozmieszczenie czujników krańcowych.....	16
Rysunek 36 Czujnik krańcowy w mocowaniu, Widok z tyłu .....	16
Rysunek 37 Czujnik krańcowy w mocowaniu, Widok z góry .....	16
Rysunek 38 Szczegółowy schemat elektroniczny z podziałem na segmenty .....	18
Rysunek 39 Wizualizacja 3D płyty głównej .....	20
Rysunek 40 Projekt płytki PCB z rozmieszczeniem komponentów .....	20

## Wykaz tabel

Tabela 1 Kosztorys elementów elektr. wykorzystanych w wersji prototypowej urządzenia... 22	22
Tabela 2 Kosztorys elementów wykorzystanych w wersji prototypowej urządzenia..... 23	23
Tabela 3 Koszty komponentów elektr. w produkcji seryjnej..... 23	23
Tabela 4 Koszty komponentów w produkcji seryjnej .....	24

## Bibliografia pomocnicza

**Norma PN-EN ISO 12100:2012** – Bezpieczeństwo maszyn – Ogólne zasady projektowania – Ocena ryzyka i zmniejszanie ryzyka.

**Polska Norma PN-EN 60204-1:2018-12** – Bezpieczeństwo maszyn – Wyposażenie elektryczne maszyn.

**Krawczyk A., Mechatronika. Podstawy i zastosowania**, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2017.

**Bolton W., Mechatronika dla studentów i inżynierów**, WNT, Warszawa 2015.

**Kudłacik P., Druk 3D. Praktyczny poradnik**, Helion, Gliwice 2020.

**TME.eu** – katalog podzespołów elektronicznych, dostęp online: <https://www.tme.eu>

**Dokumentacja techniczna mikrokontrolera ESP32 (Espressif Systems)** – <https://www.espressif.com>

**OpenBuilds V-Slot System**, dostęp: <https://openbuildspartstore.com>

**Fusion 360 Documentation** – Autodesk Inc., dostęp: <https://help.autodesk.com>