

**Politechnika Warszawska**  
**Wydział Mechatroniki**

**MUM - Miniaturyzacja Urządzeń Mechatroniki**

**Projekt:** Montaż paralaktyczny teleskopu do nadążnych obserwacji  
astronomicznych

**Autorzy:**

Ester Pawlikowska

Filip Łabaj

Michał Wincel

Bartosz Mirecki

Warszawa 2020

## **Spis treści**

1. Wstęp
2. Podstawy teoretyczne
3. Założenia projektu
4. Realizacja
  - a. Mechanika
  - b. Elektronika
  - c. Oprogramowanie
5. Podsumowanie
6. Bibliografia

## **1. Wstęp**

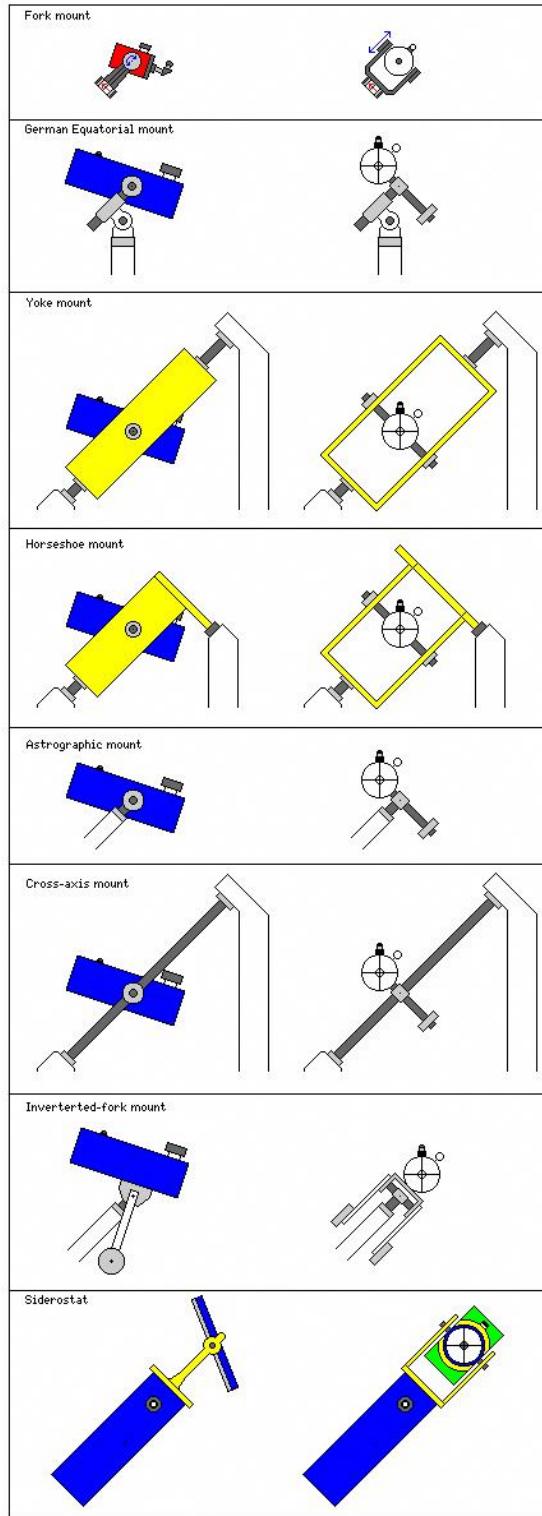
Celem projektu było zaprojektowanie i realizacja montażu równikowego teleskopu mogącego realizować nadążne śledzenie obiektów astronomicznych. Montaż miał być w dużym stopniu autonomiczny, pozwalając na zdalne zaprogramowanie i przeprowadzenie samodzielnych obserwacji wybranego obiektu.

Projekt został zrealizowany jedynie w części projektowej, z uwagi na zmianę trybu realizacji przedmiotów na Politechnice Warszawskiej w semestrze letnim 2020.

## **2. Podstawy teoretyczne**

### *a. Montaże paralaktyczne*

Paralaktyczne montaże teleskopowe są powszechnie wykorzystywane w astronomii z uwagi na możliwość kompensacji ruchu Ziemi, a tym samym wydłużenia możliwych czasów naświetlania.



Rys. 1: Różne rodzaje montaży teleskopowych

*b. Montaż paralaktyczny niemiecki*

Niemiecka odmiana montażu paralaktycznego została wynaleziona przez Josepha von Fraunhofera. Składa się z struktury T-kształtnej, gdzie niższa oś jest osią rektascensji (RA), wyższa oś osią deklinacji (DEK). Struktura jest ustawiona pod kątem odpowiadającym szerokości geograficznej obserwatora za pomocą ruchomego mechanizmu elewacji lub nieruchomych elementów kątowych.

#### c. *Obserwacje nadążne*

Obserwacje nadążne kompensują wpływ ruchu obrotowego Ziemi pozwalając np. na znaczące wydłużenie czasów naświetlania w przypadku rejestracji analogowej lub cyfrowej.

#### d. *Metody kalibracji*

Kalibracja montażu teleskopu może odbywać się na różne sposoby. W projekcie rozważane było zastosowanie kalibracji automatycznej, z wykorzystaniem enkoderów absolutnych oraz kalibracja "trzypunktowa" realizowana przez użytkownika.

Kalibracja automatyczna w założeniu funkcjonowałaby sczytując położenie bieguna geograficznego Ziemi z kompasu elektronicznego/GPS lub bieguna magnetycznego (wówczas konieczna byłaby korekta z uwagi na różnicę w położeniu obu biegunków). Następnie wykorzystując enkodery absolutne informujące o położeniu wszystkich osi teleskop zostałby przedstawiony w żądaną pozycję.

Kalibracja trzypunktowa polegałaby na wycelowaniu teleskopu w trzy gwiazdy na nieboskłonie przez użytkownika, przy każdorazowym sczytaniu pozycji. Następnie wykorzystując mapę nieboskłonu i triangulację między trzema wyznaczonymi punktami położenie teleskopu zostałoby jednoznacznie wyznaczone.

Na Rys. 2 przedstawiono oznaczenie poszczególnych osi w teleskopie o montażu paralaktycznym.

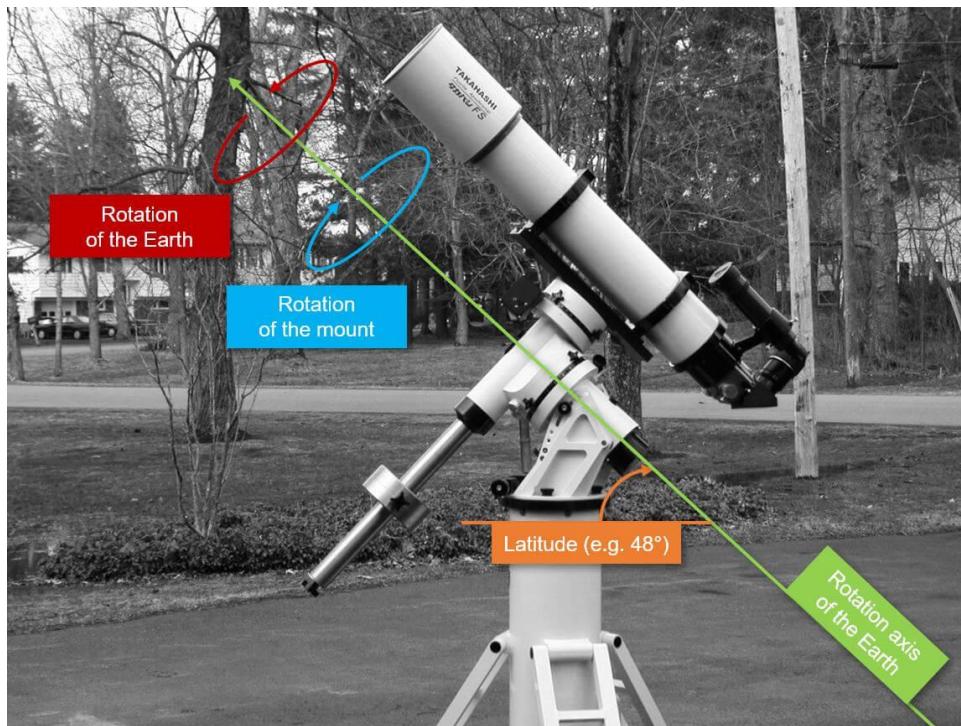


Rys. 2: Osi w teleskopie o montażu paralaktycznym.

*Latitude - szerokość geograficzna,*

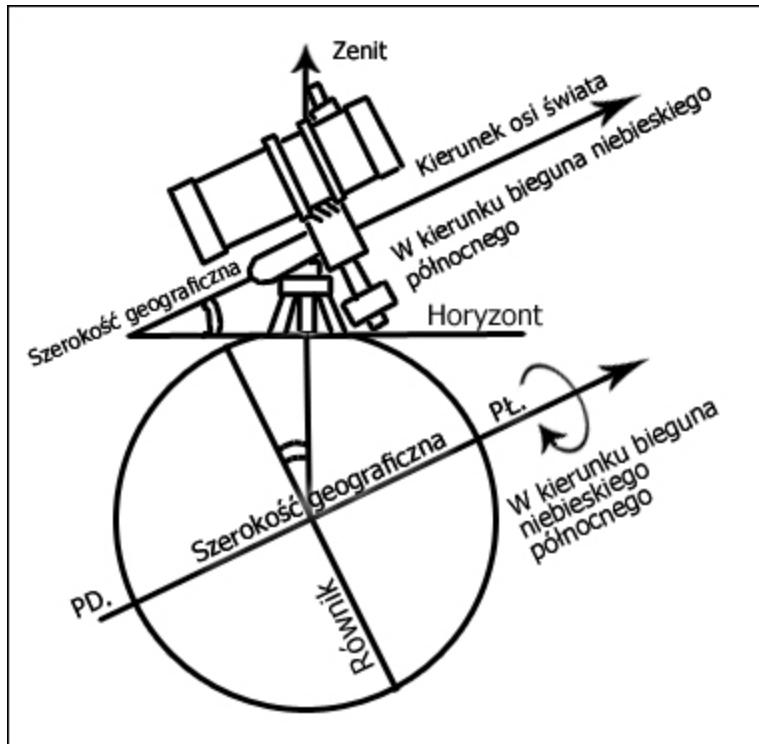
*Polar Axis - oś biegunowa;*

*Declination Axis - oś deklinacji*



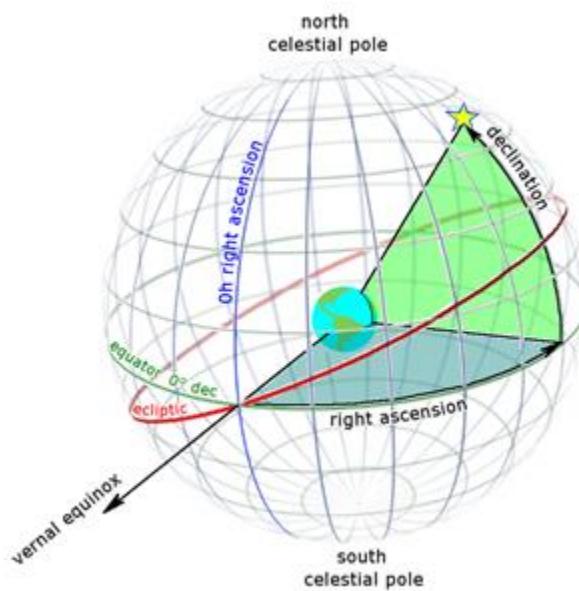
Rys. 3: Przedstawienie relacji poszczególnych osi do warunków obserwacji

Kąt szerokości ustawiamy na zgodny z naszą szerokością geograficzną oraz kątem pochylenia teleskopu. Na Rys. 4 przedstawiono jakie ma znaczenie prawidłowe ustawienie tego kąta.



Rys. 4: Przedstawienie znaczenia nastawienia kąta szerokości

Oś deklinacji ustawiamy na wartość równą pozycji na nieboskłonie naszej obserwowanej gwiazdy. Na Rys. 5 przedstawiono zobrazowanie znaczenia ustawienia kąta deklinacji. Dzięki ustawieniu tych dwóch omówionych parametrów nasz teleskop jest nakierowany na wybrany przez nas punkt – obiekt astronomiczny. Niemniej jednak ze względu na ciągły obrót kuli ziemskiej wokół własnej osi obserwujemy pozorny ruch gwiazd na niebie. Należy stosować w takim wypadku korekcję nadążną, by móc zastosować m.in. długą ekspozycję do zdjęć.



Rys. 5: Przedstawienie znaczenia nastawienia rektascensji i deklinacji

Do w pełni prawidłowego ustawienia teleskopu trzeba ustawić oś biegunową. Możemy ją ustawić zgodnie z wynikiem sumy:

$$LHA_{object} = GST + \lambda_{observer} - \alpha_{object}$$

gdzie:

$LHA_{object}$  – lokalny kąt godzinny

GST – Czas gwiazdowy Greenwich

$\lambda$  – długość geograficzna obserwatora

$\alpha$  – Rektascensja poszukiwanego obiektu na nieboskłonie

W praktyce błędne ustawienie osi rektascensji teleskopu wpływa jedynie na to, że obraz będzie obrócony o pewien kąt. Niemniej kompensując obrót Ziemi względem własnej osi obraz w obiektywie będzie nieruchomy.

Należy nadmienić: powyższy opis teoretyczny skupia się na prostym wyjaśnieniu zjawisk zachodzących podczas ruchu naszej planety bez zagłębiania się w szczegółowe zagadnienia i problemy jak różnica pomiędzy dobą słoneczną, a dobą gwiazdną albo nieliniowość czasu gwiazdnego. Takie podejście wynika z tego, że byłby potrzebny bardzo obszerny opis tych zjawisk, a i tak algorytm programu nie będzie ich brał pod uwagę ze względu na bardzo trudną implementację – przykładowo: doba gwiazdna trwa 23h i 56 minut albo wpływ zmian położenia naszej planety w układzie słonecznym. Uznano, że błędy są pomijalnie małe oraz głównym celem jest obserwacja odległych gwiazd, a nie np. Marsa.

### 3. Założenia projektu

W poniższej tabeli przedstawiony został podział urządzenia na moduły i ich założenia.

Mechanika	-	Założenia
	Moduł elewacji	<ul style="list-style-type: none"><li>• Zakres kątowy ruchu 0° - 90° względem poziomu</li><li>• Dokładność położenia kątowego 0,5°</li><li>• Zapewnienie możliwości montażu całego urządzenia do standardowych głowic statywowych</li><li>• Zapewnienie stabilności montażu</li></ul>
	Moduł DEK	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dokładność przesuwu 1'</li></ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zakres kątowy ruchu: 360°</li> <li>• Możliwość mocowania przeciwwagi</li> <li>• Uniwersalne mocowanie do teleskopu</li> <li>• Maksymalne wykorzystanie części handlowych</li> <li>• Wykorzystanie przekładni pasowej w celu ograniczenia kosztów</li> </ul>
	Moduł RET	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prędkość obrotu wału dostosowana do prędkości obrotu Ziemi</li> <li>• Dokładność przesuwu 1'</li> <li>• Zakres kątowy ruchu: 360°</li> <li>• Uniwersalne mocowanie do statywów lub modułu elewacji</li> <li>• Maksymalne wykorzystanie części handlowych</li> <li>• Wykorzystanie przekładni pasowej w celu ograniczenia kosztów</li> </ul>
Elektronika	-	-
	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umożliwienie ciągłego sterowania silnikami i odczytywania położenia z ich enkoderów</li> <li>• źródło zasilania pozwalające na uzyskanie odpowiednich prądów i napięcia</li> <li>• napięcie bezpieczne</li> <li>• temperatura pracy: od -10 st. C do 30 st. C</li> <li>• łączna waga do 0.5 kg</li> <li>• możliwość uzyskania prądów rozładowywania do 8A</li> <li>• małe wymiary (łączna powierzchnia mniejsza niż 200 cm<sup>2</sup>)</li> <li>• komunikacja z pulpitem użytkownika</li> </ul>

Oprogramowanie	-	-
	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizacja kalibracji i ruchu nadążnego dla parametrów i wymagań zadawanych przez użytkownika</li> </ul>

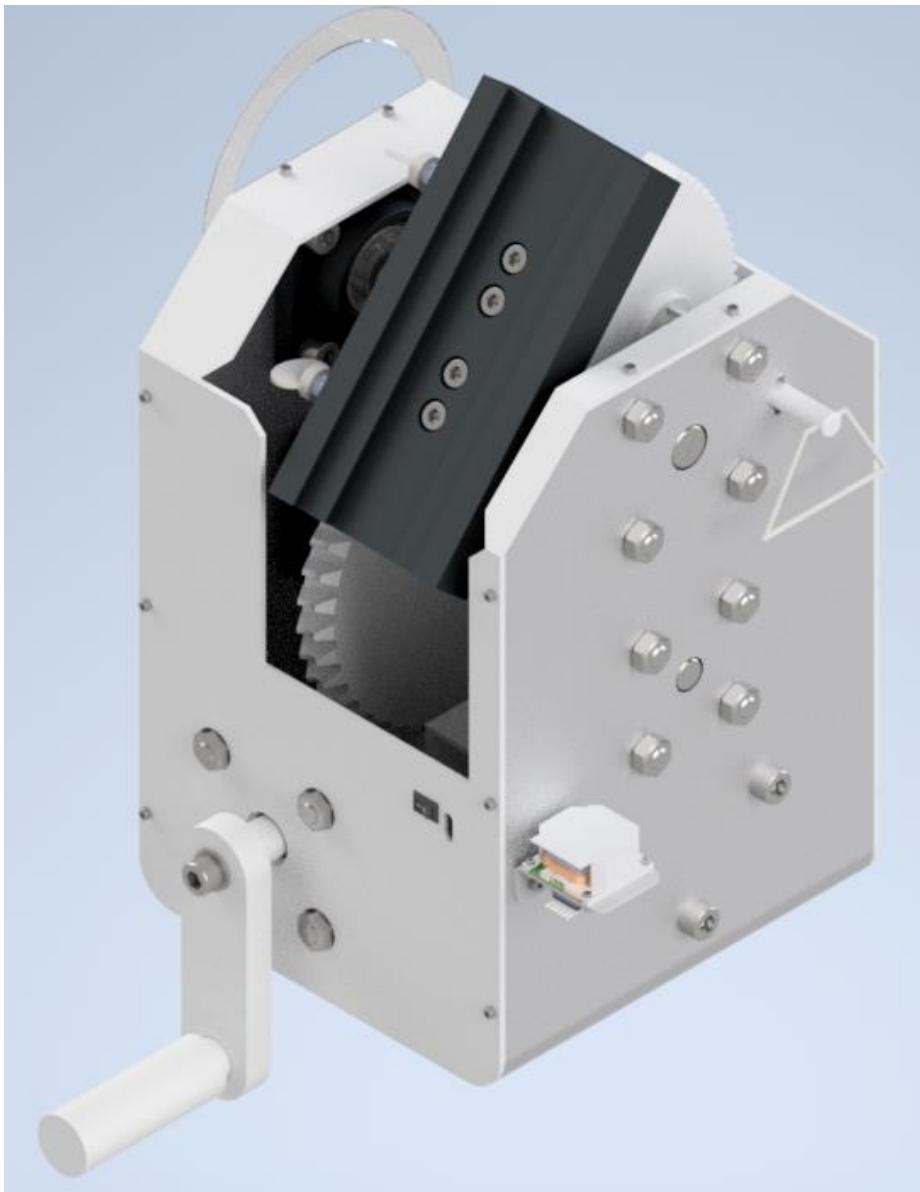
#### 4. Realizacja

##### a. Mechanika

###### **Moduł elewacji**

Moduł elewacji pozwala na nastawienie kąta elewacji montażu paralaktycznego.

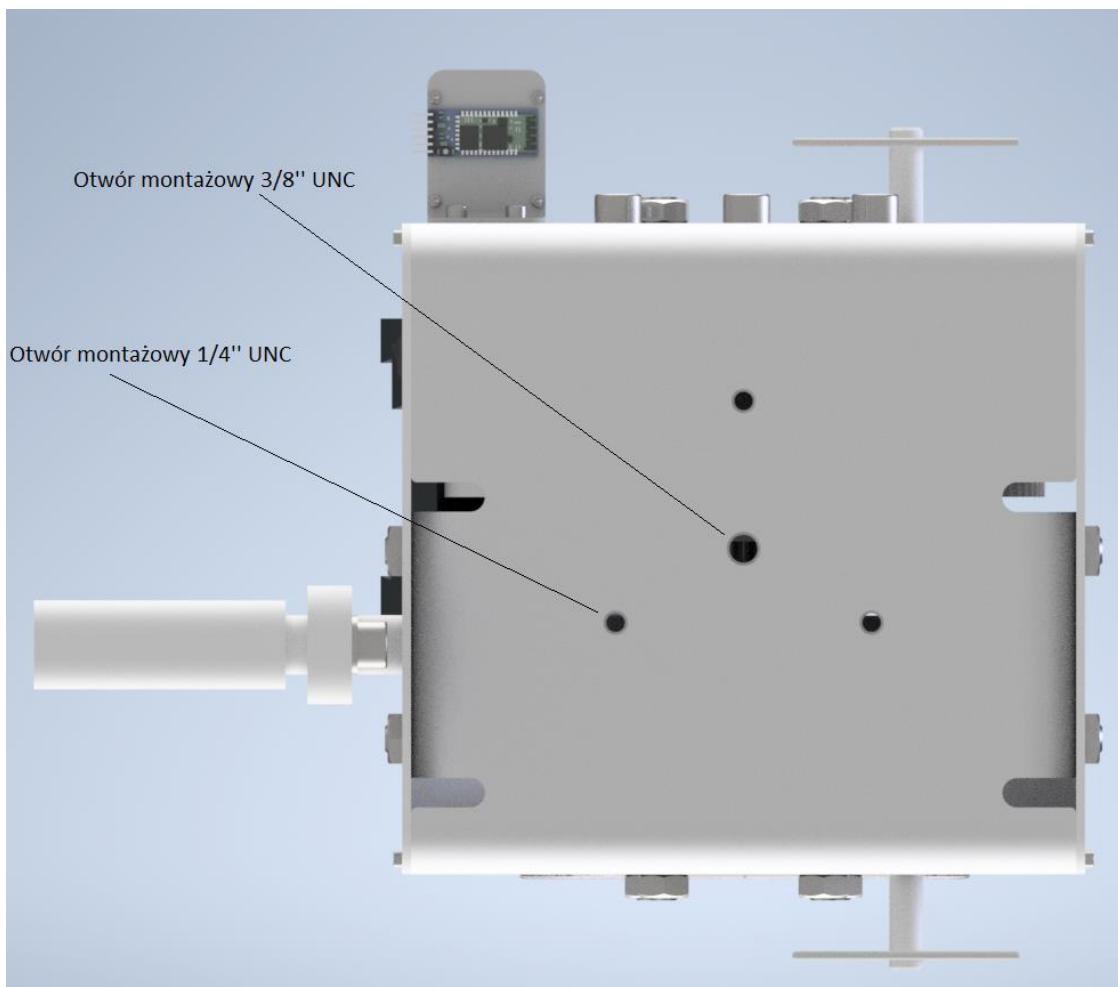
Moduł składa się z trzech głównych podzespołów – mechanizmu elewacji **1**, obudowy **2** i montażu elektroniki **3**. Model 3D modułu został przedstawiony na Rys. 6.



Rys. 6: Model 3D modułu elewacji

W przedstawionej wersji za indykatorem położenia kątowego służy ekierka **4** dociskana nakrętkami do bocznej ściany obudowy.

Moduł posiada możliwość montażu na standardowych głowicach statywowych 3/8" i 1/4".



Rys. 7: Widok modułu elewacji od spodu przedstawiający otwory montażowe

Cały moduł elewacji wraz z podzespołami i detalami został opisany szczegółowo na rysunkach oznaczonych MPT-03-xx-xx, załączonych do dokumentacji.

#### a) Mechanizm elewacji

##### Założenia:

- Zakres kątowy:

Wymagany zakres obrotu powinien zawierać się w przedziale  $0^\circ - 90^\circ$  (przyjmując  $0^\circ$  na linii horyzontu).

- Rozdzielcość kątowa:

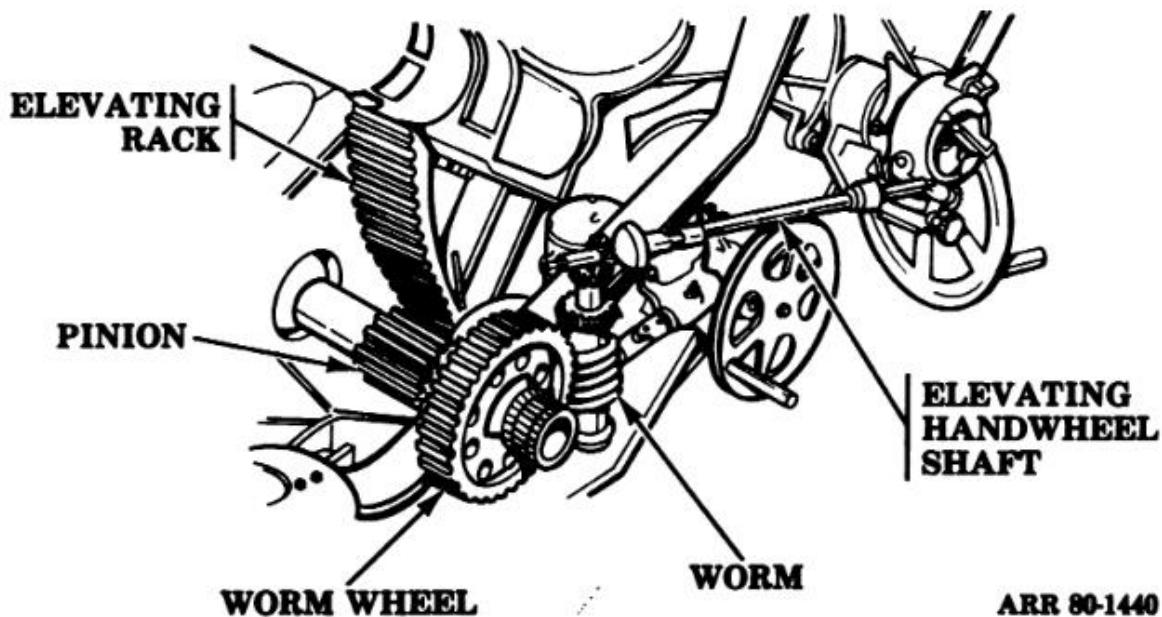
Mechanizm powinien zapewnić możliwość nastawy kąta z rozdzielcością  $0,5^\circ$  lub mniejszą w całym zakresie obrotu

- Dodatkowe wymagania:

Mechanizm powinien utrzymywać nastawioną pozycję przy obciążeniu wszystkimi pozostałymi modułami i elementami urządzenia oraz teleskopem.

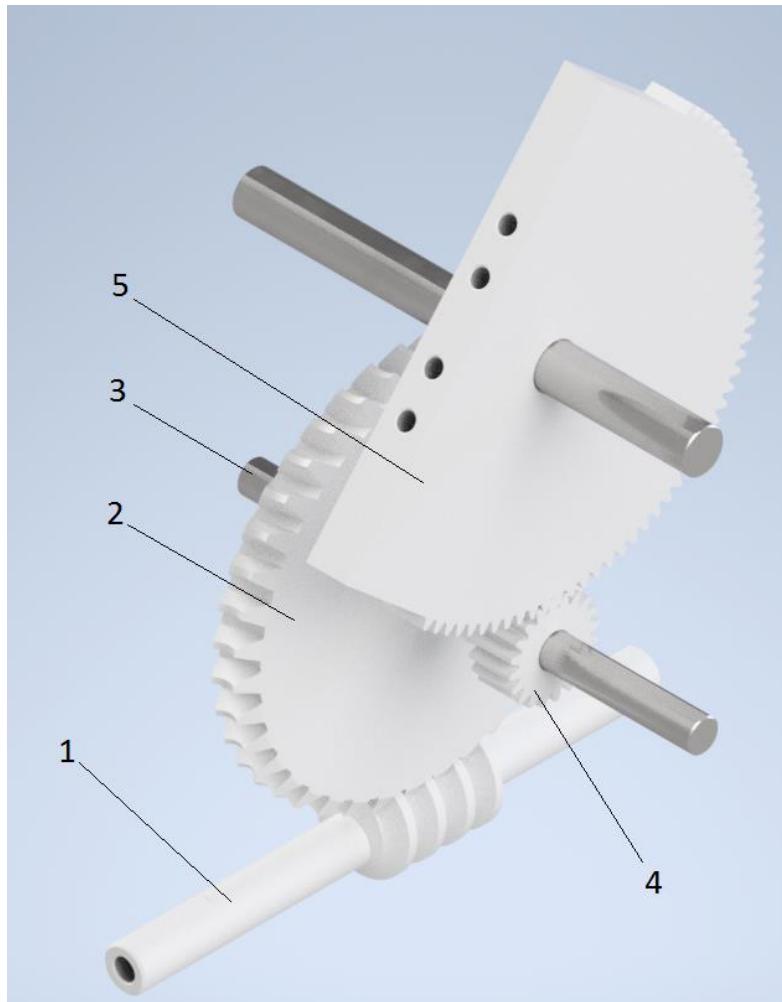
#### Realizacja

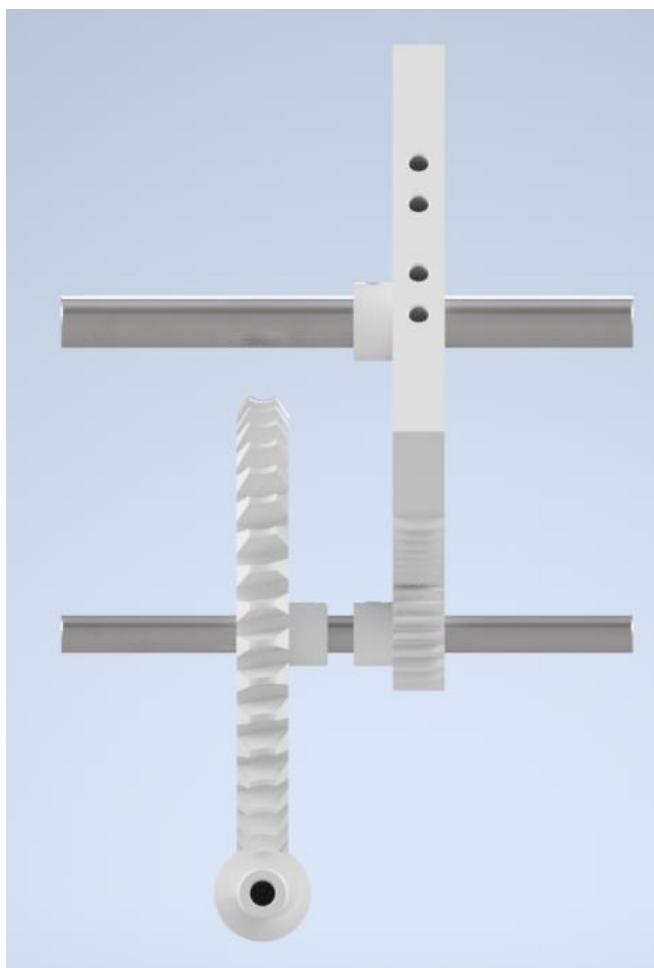
Mechanizm elewacji został oparty na rozwiążaniu stosowanym w niektórych działach artyleryjskich (np. haubica 2A18 (D-30) [1]) wykorzystującym translację mechaniczną ruchu z wykorzystaniem ślimaka i ślimaczniczy. Na Rys. 8 przedstawiony został schemat takiego układu.



Rys. 8: Schemat mechanizmu elewacji [2]

Model 3D zaprojektowanego mechanizmu został przedstawiony na Rys. 9.





Rys. 9: Model 3D mechanizmu elewacji

Ruch obrotowy ślimaka **1** wprowadzany z wykorzystaniem korby przymocowanej do jego wału przez użytkownika, jest przekazywany za pomocą ślimacznicy **2** na wał **3** a następnie, z wykorzystaniem zamontowanego na wale koła zębatego **4** na półkole zębatego **5** do którego przymocowane są wyższe moduły montażu.

Pozyczczególne elementy mechanizmu zostały zaprojektowane z wykorzystaniem środowiska Design Accelerator:

Ślimak (worm) i ślimacznica (worm gear):

**Design | Calculation**

Common	Tan. Module	Tan. Pressure Angle	Helix Angle
Desired Gear Ratio 39.0000 ul	4.500 mm	20.0000 deg	9.0193 deg
<b>Preview...</b>		<b>Center Distance</b>	
<b>Worm</b>		<b>Worm gear</b>	
Component <input type="button" value="Cylindrical Face"/>	Number of Threads 1.00000000 ul <input type="button" value="Start plane"/>	Component <input type="button" value="Cylindrical Face"/>	Number of Teeth 39.00000000 ul <input type="button" value="Start plane"/>
Worm Length 60.000 mm	Pitch Diameter 28.350 mm	Facewidth 20.0000000 mm	Diameter Factor 6.3000 ul
Diameter Factor 6.3000 ul		Unit Correction -0.4278 ul	

**Design | Calculation**

Method of Strength Calculation Legacy ANSI	Results
Loads	$F_r$ 135.930 N
Driving Part	$F_n$ 356.093 N
Power	$V_k$ 1.503 mps
Speed	<b>Worm</b>
Torque	$F_t$ 77.953 N
<input type="checkbox"/> Efficiency	$F_a$ 320.186 N
Material Values	<b>Worm gear</b>
Worm	$F_d$ 388.750 N
Worm gear	$F_w$ 2186.091 N
Bending Fatigue Strength	$F_s$ 5831.581 N
Contact Fatigue Strength	
Modulus of Elasticity	
Poisson's Ratio	
Worm Material Coefficient	
Required Life	$L_h$ 10000 hr
<b>Factors</b>	
<b>Accuracy</b>	

Koło zębate i półkole zębate:

**Design | Calculation**

**Common**

Design Guide: Center Distance  
Desired Gear Ratio: 5.0000 ul  
Module: 2.000 mm  
Center Distance: 120.000 mm

Pressure Angle: 20.0000 deg  
Helix Angle: 0.0000 deg

Unit Corrections Guide: User  
Total Unit Correction: 0.0000 ul

**Gear1**

Component: Cylindrical Face  
Number of Teeth: 20 ul  
Facewidth: 20.000 mm  
Unit Correction: 0.0000 ul

**Gear2**

Component: Cylindrical Face  
Number of Teeth: 100 ul  
Facewidth: 20.000 mm  
Unit Correction: 0.0000 ul

**Design | Calculation**

Method of Strength Calculation: ISO 6336:1996

Loads

	Gear 1	Gear 2
Power	1.000 kW	0.980 kW
Speed	1000.00 rpm	200.00 rpm
Torque	9.549 N m	46.792 N m
Efficiency	η	0.980 ul

Material Values

Gear 1	User material
Gear 2	User material
Bending Fatigue Limit	$\sigma_{Flim}$ : 352.0 MPa
Contact Fatigue Limit	$\sigma_{Hlim}$ : 1140.0 MPa
Modulus of Elasticity	E: 206000 MPa
Poisson's Ratio	$\mu$ : 0.300 ul
Heat Treatment	2 ul

Results

	Gear 1	Gear 2
$F_t$	477.465 N	173.783 N
$F_r$	0.000 N	508.107 N
$F_a$	2.094 mps	30101.878 rpm
$n_{E1}$	1.482 ul	4.027 ul
$S_H$	1.343 ul	8.342 ul
$S_F$	1.617 ul	4.533 ul
$S_{Hst}$	1.466 ul	9.183 ul
$S_{Fst}$		

Required Life:  $L_h$ : 10000 hr

Factors | Accuracy

Rys. 10: Założenia i obliczenia do przekładni ślimak-ślimacznicza i do przekładni koło zębate - półkole zębate

Obrót korby o 360 stopni powoduje równoważny obrót ślimaka o 360 stopni co z kolei powoduje obrót ślimacznicy o 1 ząb, czyli 9,23 stopnia. Obrót połączonego do tego samego wału koła zębatego powoduje obrót zazębionego z nim półkola zębnego o 1,85 stopnia. Zakładając odpowiednie pasowania poszczególnych elementów mechanizmu, osiągalna rozdzielcość obrotu korby to około 5 stopni, a więc 0,025 stopnia obrotu półkola zębnego - elewacji. Tym samym założenie rozdzielcości modułu elewacji <0,5 stopnia zostało spełnione.

Zarówno wał ślimaka, wał półkola zębnego jak i wał 3 są łożyskowane odpowiednio w łożyskach skośnych kulkowych F4BSS 20M-YTPSS i FY 15 FM [3]. Otwory montażowe obudów łożysk pozwalają na prosty montaż i demontaż do obudowy modułu elewacji.

Wybrane łożyska zapewniają odpowiednio 6,5 i 4,75 kN maksymalnego obciążenia statycznego co wystarcza dla obciążeń rzędu setek niutonów występujących w układzie.



Rys. 11: Łożysko SKF FY 15 FM

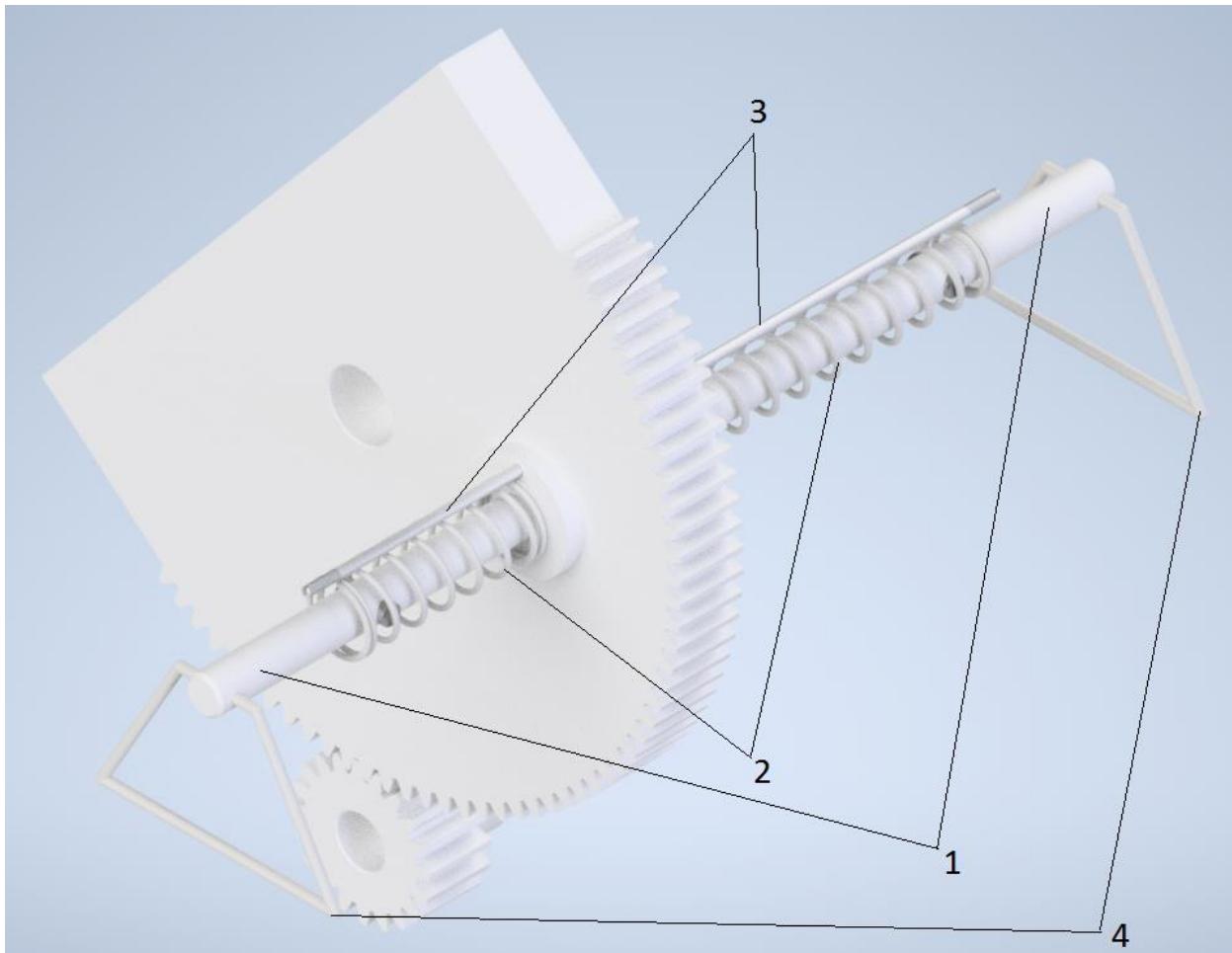


Rys. 12: Łożysko SKF F4BSS 20M-YTPSS

Zaprojektowane elementy mechanizmu zostały zaplanowane jako wykonane z żywicy ceramicznej z wykorzystaniem drukarki SLA. Pozwala to na rezygnację z bardziej tradycyjnych

metod obróbki skrawaniem, przy zachowaniu części z parametrów mechanicznych. Wały zostały zaplanowane jako wykonane z prętów stalowych z C55. Wymagają obróbki polegającej na "ścięciu" kawałka powierzchni bocznej pod elementy montażowe w łożyskach i kołach/ślimacznicy - obróbka ta jest możliwa do realizacji np. pilnikiem, ręcznym lub automatycznym przed hartowaniem C55.

Dodatkowo zaprojektowany został mechanizm kontrzący moment wytwarzany przez ciężar modułów montowanych na półkolu zębacie. Model mechanizmu hamującego został przedstawiony na Rys. 10.



Rys. 13: Model 3D mechanizmu hamującego elewacji

Szczęki mechanizmu **1** mocowane w obudowie elewacji są dociskane sprężynami **2** opartymi na powierzchni obudowy. Wały prowadzące **3** osadzone w otworach gwintowanych w obudowie zabierają stopnie swobody szczękom minimalizując ryzyko wyboczenia. Uchwyty **4** służą do kontroli docisku i montażu/demontażu.

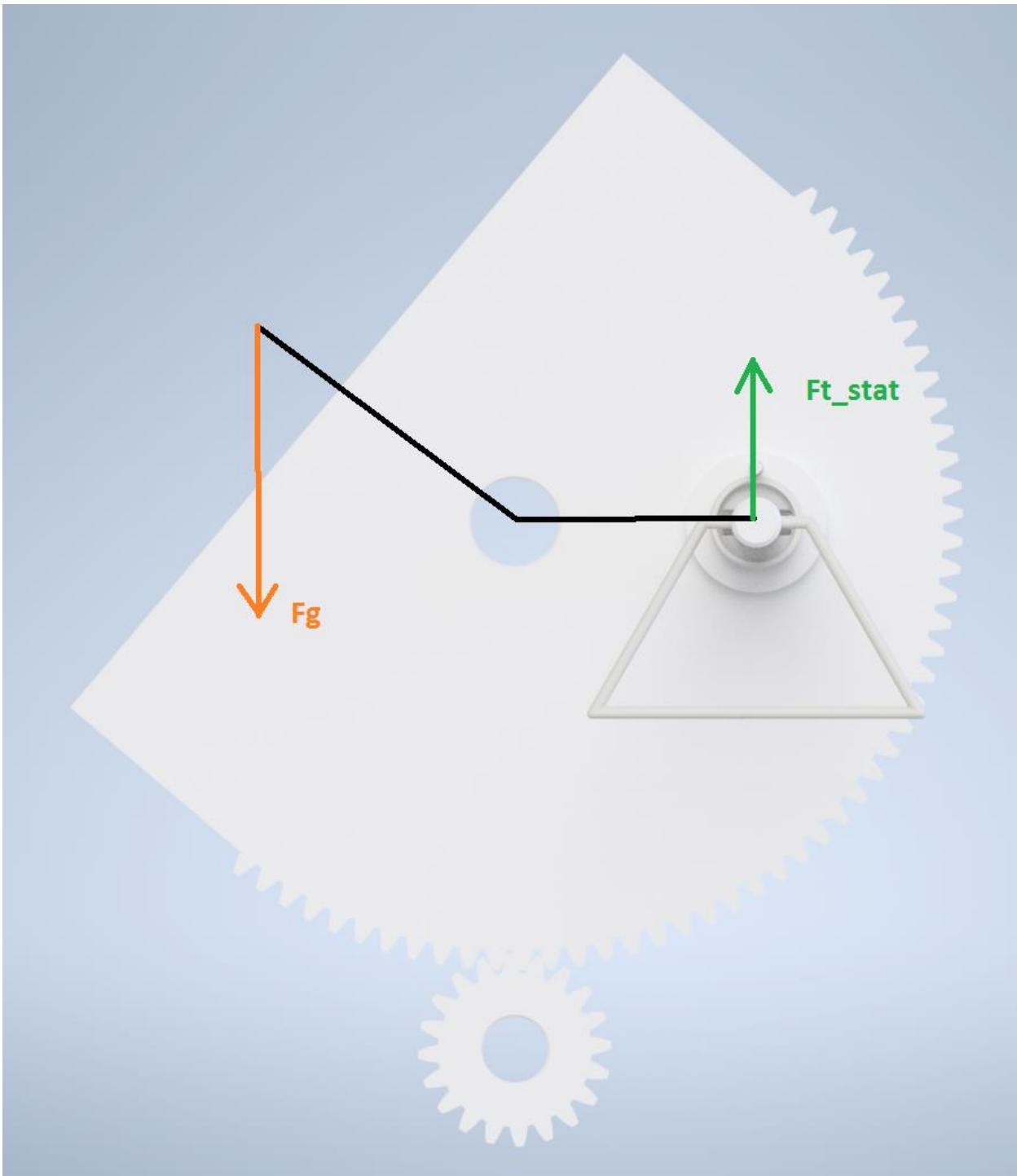
Na końcach szczek dodane zostały otwory pod przyklejenie wkładek z tworzywa o dużym współczynniku tarcia [4]:



*Rys. 14: Przykładowa podkładka tarciowa firmy Montalvo*

Siła od dwóch sprężyn naciskowych dociska wkładki do powierzchni koła zębnego co powoduje moment tarcia i kontruje moment powstający przez obciążenie koła pod dużymi kątami.

Na Rys. 11 przedstawiony został schemat sił w układzie w położeniu elewacji pod kątem 45°.



Rys. 15: Schemat sił w mechanizmie elewacji.  $F_g$  - siła przyciągania masy modułów wyższych montowanych na półkolu.  $F_{t\_stat}$  - siła tarcia statycznego kontrująca  $F_g$ .

Z wykorzystaniem środowiska Design Accelerator zostały sprężyny **1** i **2** o następujących parametrach:

**Sprężyna 1:**

**Design** | **Calculation**

**Placement**

- Axis
- Start Plane

**Installed Length**

Custom Length: 57.5 mm

Coil Direction: right

**Spring Wire**

Wire Diameter: 1.600 mm

**Spring Start**

Closed End Coils	$n_{z1}$ : 1.5 ul
Transition Coils	$n_{t1}$ : 1 ul
Ground Coils	$z_{o1}$ : 0.75 ul

**Spring End**

Closed End Coils	$n_{z2}$ : 1 ul
Transition Coils	$n_{t2}$ : 0.75 ul
Ground Coils	$z_{o2}$ : 0.5 ul

**Spring Length**

Length Inputs:  $L_0, n \rightarrow t$

Loose Spring Length:  $L_0$ : 82.784 mm

Pitch:  $t$ : 11.312 mm

Active Coils:  $n$ : 7.000 ul

**Spring Diameter**

Diameter: Inner

$D_2$ : 18 mm

**Design** | **Calculation**

**Spring Strength Calculation**

Compression Spring Design

Calculation Options

Design Type:  $F_8, D, \text{Assembly Dimensions} \rightarrow d, L_0, n, F_1$

Method of Stress Curvature Correction: No Correction

Design of Assembly Dimensions: Design of All Assembly Dimensions  $L_1, L_8, H$

Load

Min. Load	$F_1$ : 3.397 N
Max. Load	$F_8$ : 40 N
Working Load	$F$ : 35.000 N

Dimensions

Wire Diameter	$d$ : 1.600 mm
Inside Diameter	$D_2$ : 18 mm
Loose Spring Length	$L_0$ : 82.784 mm

Spring Coils

Rounding of Coil Number	1
Active Coils	$n$ : 7.000 ul

**Spring Material**

Steel Wire, Class 1

Ultimate Tensile Stress:  $\sigma_{ult}$ : 2305.000 MPa

Allowable Torsional Stress:  $\tau_A$ : 1152.500 MPa

Modulus of Elasticity in Shear:  $G$ : 78500.000 MPa

Density:  $\rho$ : 7860 kg/m<sup>3</sup>

Utilization Factor of Material:  $us$ : 0.900 ul

Check of Buckling

**Spring Type**

Guided mounting - parallel ground ends

Fatigue Loading

Nonshot-peened spring

Spring Life in Thousands of Deflections:  $N$ : >10000

Safety Factor:  $k_f$ : 1.200 ul

**Assembly Dimensions**

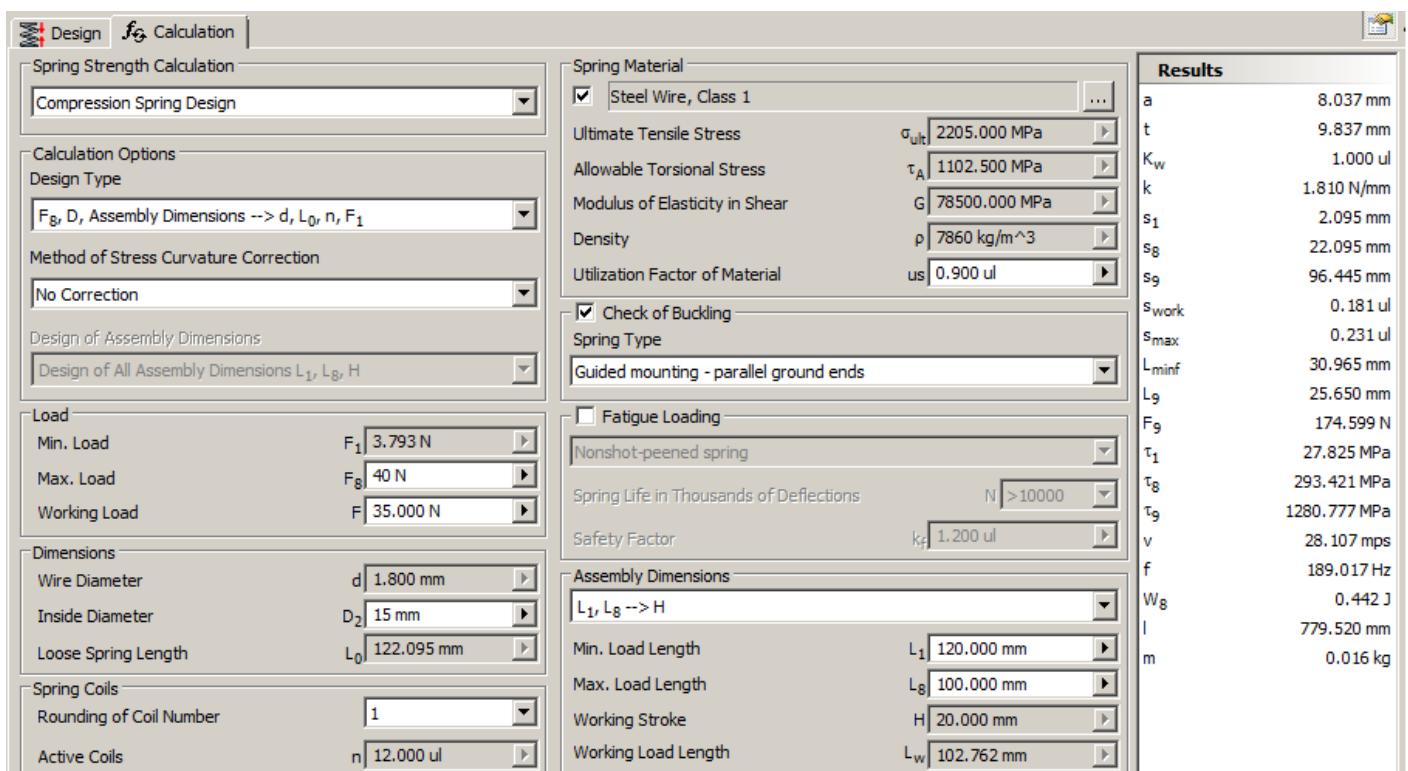
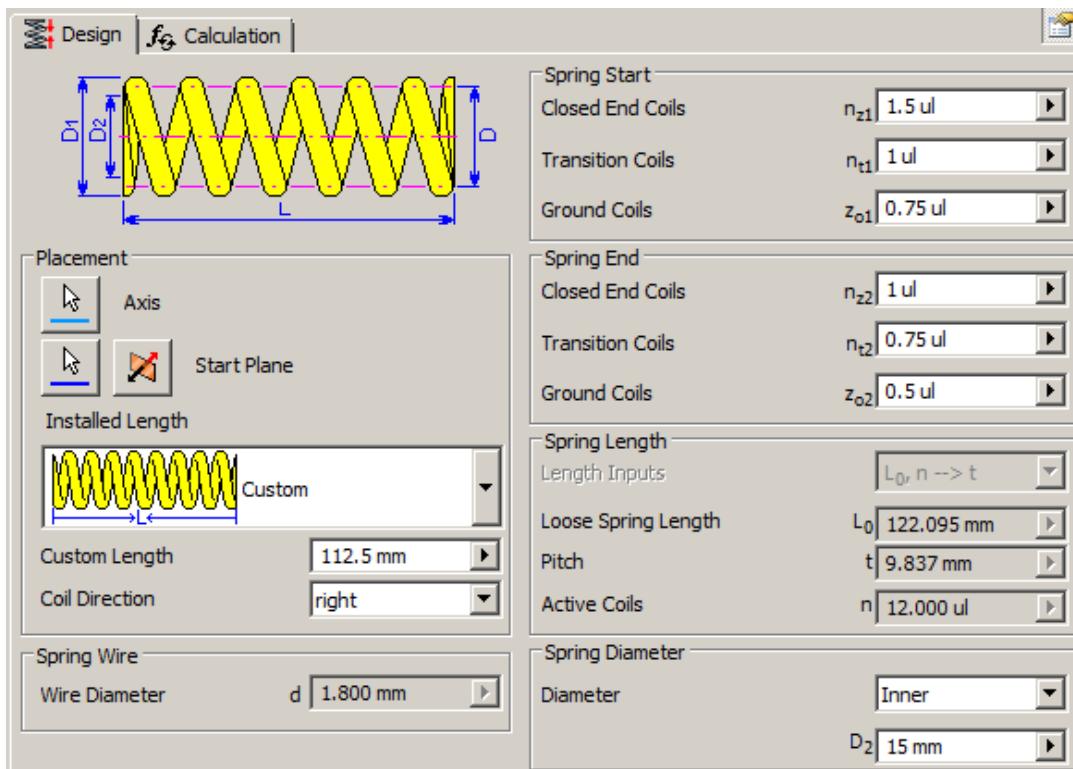
$L_1, L_8 \rightarrow H$

Min. Load Length	$L_1$ : 80.000 mm
Max. Load Length	$L_8$ : 50.000 mm
Working Stroke	$H$ : 30.000 mm
Working Load Length	$L_w$ : 54.098 mm

**Results**

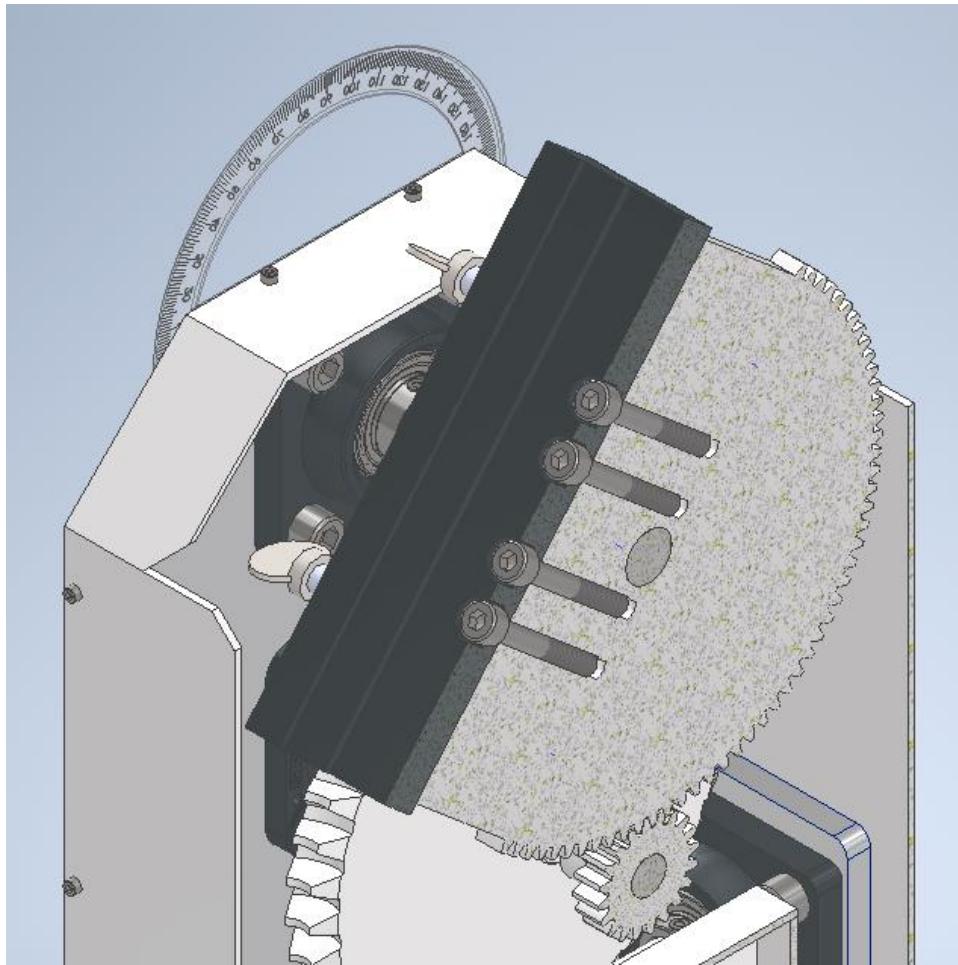
a	9.712 mm
t	11.312 mm
$K_w$	1.000 ul
k	1.220 N/mm
$s_1$	2.784 mm
$s_8$	32.784 mm
$s_9$	67.984 mm
$s_{work}$	0.396 ul
$s_{max}$	0.578 ul
$L_{minf}$	17.944 mm
$L_9$	14.800 mm
$F_9$	82.947 N
$\tau_1$	41.396 MPa
$\tau_8$	487.412 MPa
$\tau_9$	1010.738 MPa
v	14.897 mps
f	211.611 Hz
$W_8$	0.656 J
I	595.840 mm
m	0.009 kg

## Spręzyna 2:



Rys. 16: Parametry zadane (pola białe) i wyznaczone (pola szare i Results) w środowisku Design Accelerator

Montaż wyższych modułów montażu jest realizowany poprzez standardowy adapter szyny typu jaskółczy ogon (*dovetail*), połączony z kołem śrubami M9x50 w sposób przedstawiony na Rys. 13.



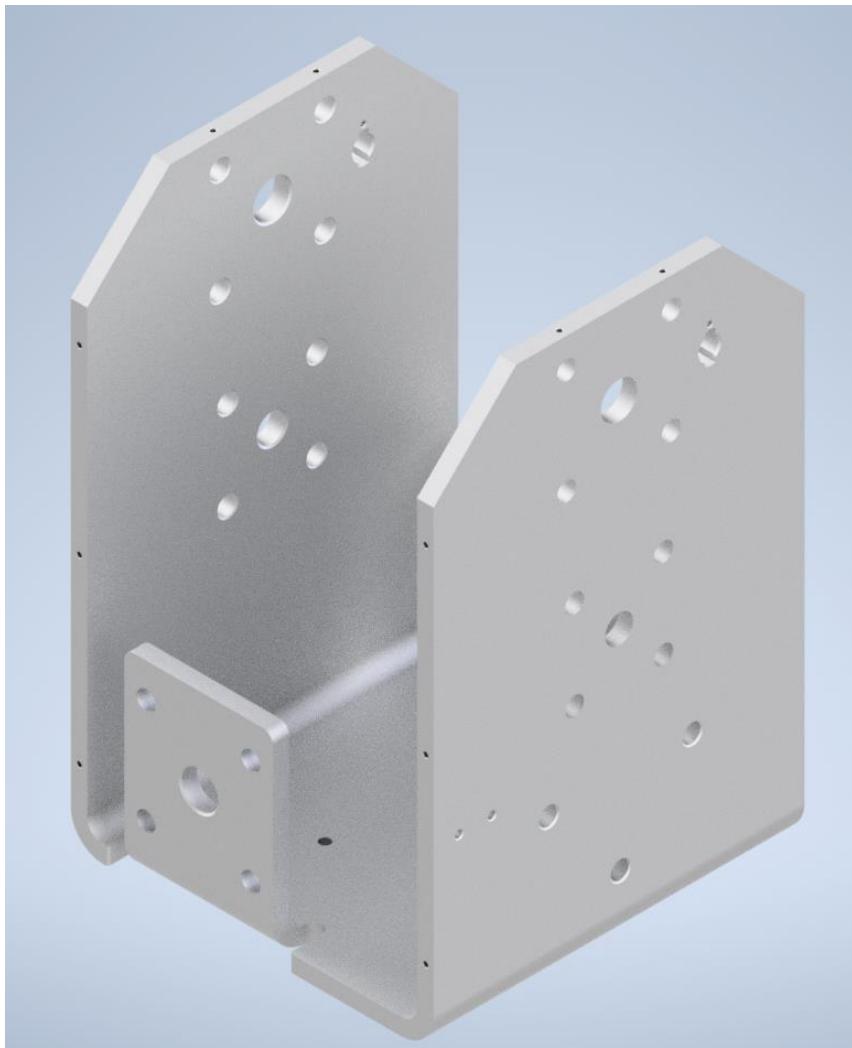
Rys. 17: Schemat montażu uchwytu adaptera dovetail'a w przekroju

Adapter pozwala na mocowanie szyny i jej utwierdzenie przy wykorzystaniu docisków bocznych.

### b) Obudowa

#### Założenia:

- Zapewnienie stabilnego szkieletu do montażu mechanizmu elewacji i pozostałych modułów teleskopu
- Zapewnienie ochrony mechanizmu elewacji przed wpływem czynników zewnętrznych



Rys. 18: Model 3D obudowy elewacji

Obudowa została zaprojektowana jako pojedynczy element z 10 mm aluminiowej blachy giętej, przedstawiony na Rys. 14.

Otwory przelotowe pozwalają na prosty montaż poszczególnych elementów mechanizmu elewacji do obudowy z wykorzystaniem śrub i nakrętek. Otwory gwintowane na powierzchniach bocznych pozwalają na przymocowanie pokryw zewnętrznych modułu.

W dolnej części umieszczone zostały standardowe otwory montażowe 1/4" i 3/8".

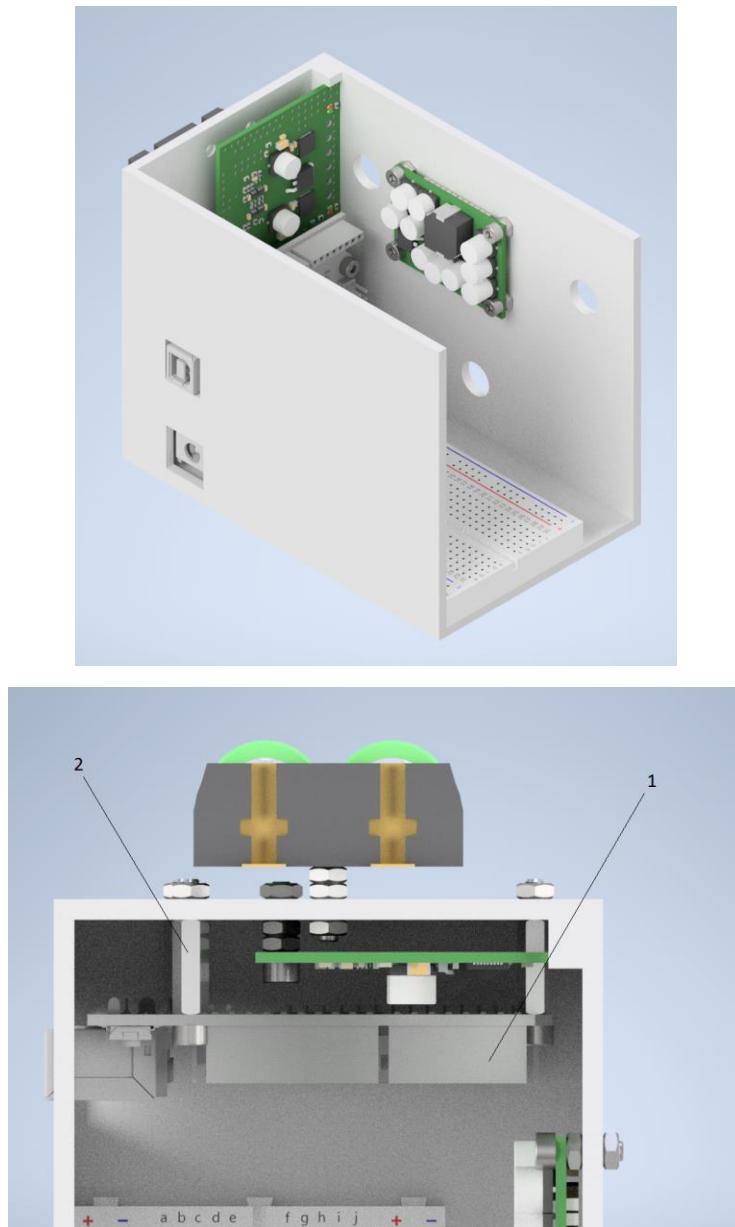
### c) Moduł elektroniki

#### Założenia:

- Zapewnienie stabilnego montażu dla układu elektronicznego
- Umożliwienie prostego montażu połączeń między podzespołami elektronicznymi
- Osłonienie podzespołów elektronicznych od czynników zewnętrznych

- Zapewnienie warunków pozwalających na działanie podzespołów wykorzystujących GPS i Bluetooth.

Model 3D modułu elektroniki został przedstawiony na Rys. 15.

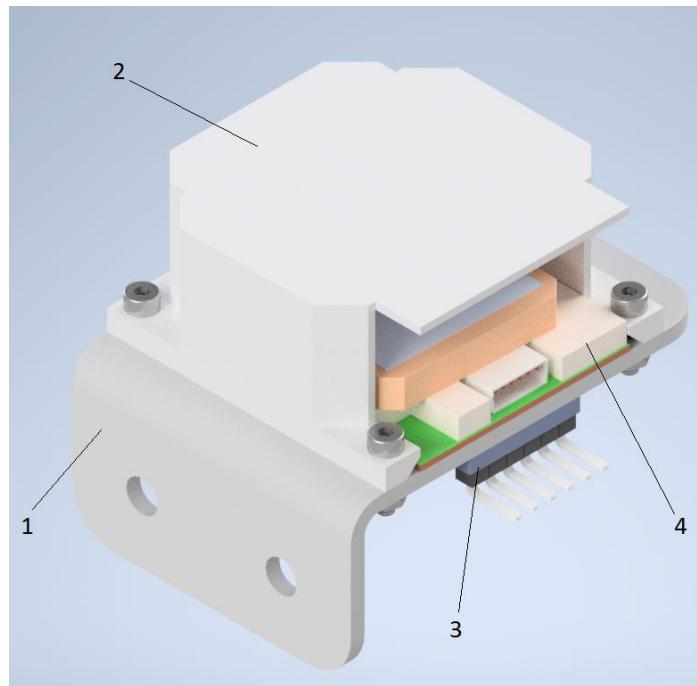


Rys. 19: Model 3D modułu elektroniki

Montaż mikrokontrolera **1** jest realizowany z wykorzystaniem tulejek dystansowych **2**, w celu zapewnienia przerwy powietrznej i lepszej cyrkulacji.

Moduł jest montowany do powierzchni bocznej obudowy elewacji w trzech punktach za pomocą śrub i nakrętek M10.

Elementy elektroniczne wymagające łączności radiowej zostały umieszczone na zewnątrz obudowy w montażu przedstawionym na Rys. 16.



Rys. 20: Montaż zewnętrzny elektroniki wymagającej łączności radiowej

Blaszka 1 jest mocowana z wykorzystaniem śrub i nakrętek do obudowy elewacji. Otwory przelotowe w obudowie elewacji pozwalają na połączenie zewnętrznych elementów elektronicznych z głównym modułem elektroniki

Zarówno moduł GPS 4 jak i moduł Bluetooth 3 są mocowane połączeniem klejonym do blaszki. Ponadto moduł Bluetooth posiada własną obudowę, co pozwala na przykrycie jedynie modułu GPS obudową 2.

Dodatkowo w pełnym złożeniu urządzenia moduł elektroniki jest przykrywany prostokątną pokrywą z wykorzystaniem połączenia klejonego z obudową modułu.

#### d) Kosztorys

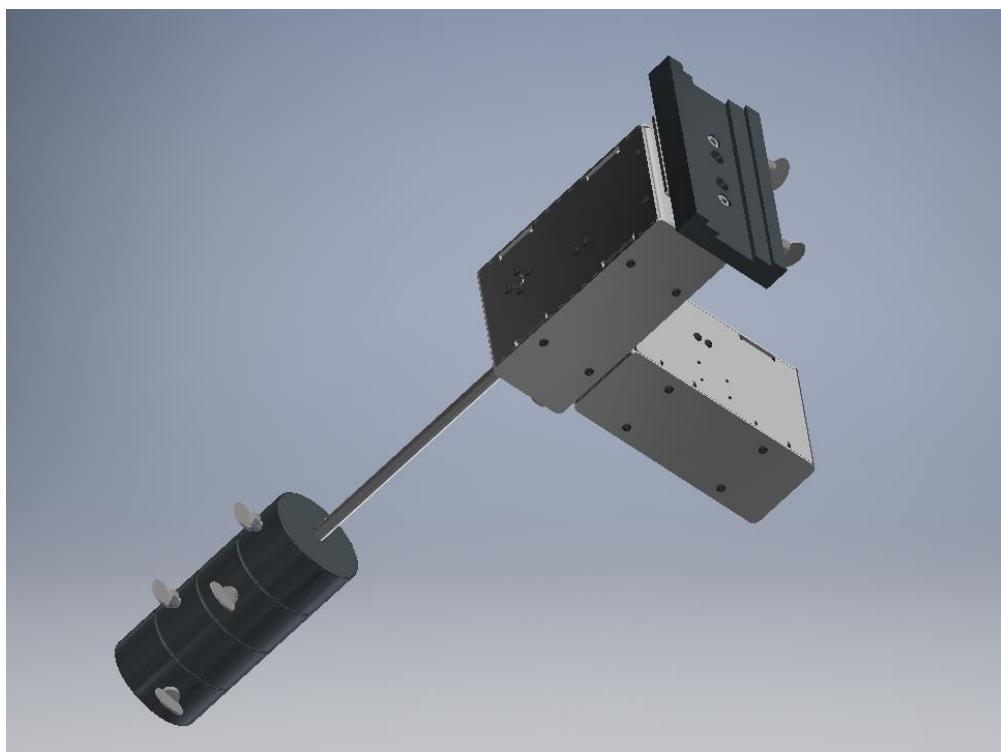
Lp.	Nazwa części	Liczba sztuk	Koszt jednostkowy	Suma
1	Obudowa z blachy giętej wycinana laserowo	1	ok. 500,00 zł	500,00 zł
2	Łożysko SKF F4BSS 20M-YTPSS [5]	4	ok. 150,00 zł	600,00 zł
3	Łożysko SKF FY 15 FM [5]	2	ok. 128,00 zł	256,00 zł

4	Elementy drukowane z żywicy ceramicznej (zbiorczo) [6]	1	ok. 500,00 zł	500,00 zł
5	Wałek fi15 [7]	1	15,50 zł	15,50 zł
6	Wałek fi20 [8]	1	53,00 zł	53,00 zł
7	Elementy łącznikowe (śruby, nakrętki; zbiorczo) [9]	1	Ok. 150 zł	150,00 zł
5	Elementy drukowane z ABS (zbiorcze)	1	30,00 zł	30,00 zł
9	Blaszka montażowa adaptowana z kątownika meblowego	1	15,00 zł	15,00 zł
10	Sprzęzyny [10]	2	ok. 30,00 zł w zależności od długości	60,00 zł
11	Wałki prowadzące (materiał i wykonanie)	2	ok. 50,00 zł	100,00 zł
12	Podkładka tarciowa [11]	1	Ok. 10 zł	10,00 zł

Szacowany sumaryczny koszt: **2298,50 zł.**

#### Moduł rektascensji oraz moduł deklinacji

##### a. Budowa mechanizmów modułu rektascensji i deklinacji



Rys. 21: Moduł rektascensji oraz deklinacji wraz z przeciwwagą i uchwytem na teleskop.

Moduły rektascensji oraz deklinacji zawierają przekładnie pasowe. Składają się z:

- silnika zamocowanego w uchwycie,
- małego koła napędzanego bezpośrednio przez wał silnika,
- paska zębatego,
- dużego koła zębatego napędzanego przez pasek,
- wałka dużego koła,
- napinacza.

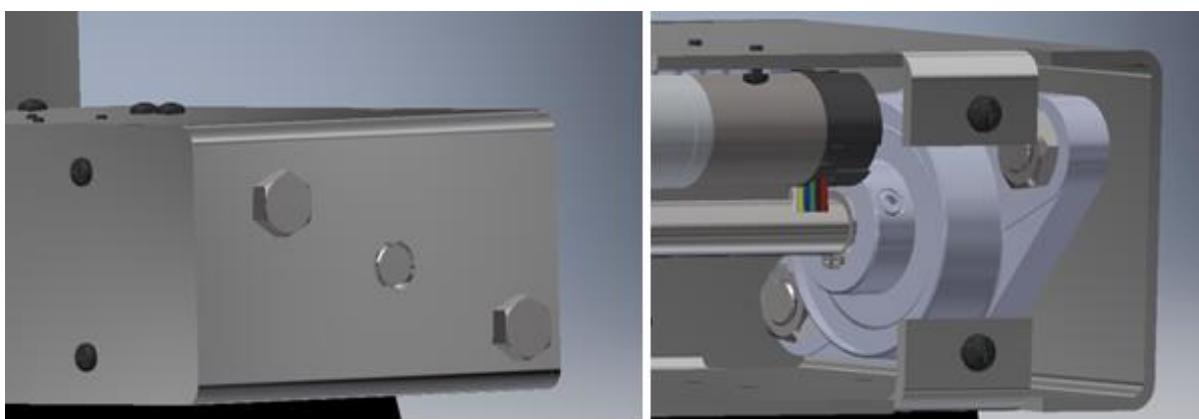
Łożyska samonastawne UCFL 201



Do ustalenia wałów modułu deklinacji i rektascensji w obudowie wykorzystano [12] [13] [14] łożyska samonastawne UCFL 201. Ustalają one oś wałów i zapewniają ich swobodny obrót względem obudowy. Wykorzystane łożyska są to łożyska kulkowe, razem z oprawą tworzą one samonastawny zespół gotowy do montażu. Z dwóch stron w łożysku umieszczone są uszczelnienia, które pełnią funkcję zabezpieczającą układ łożyska.

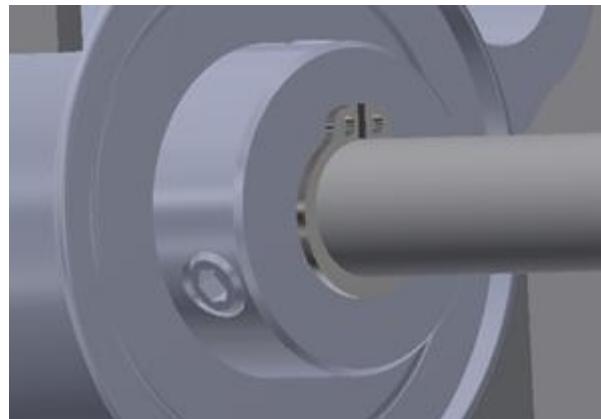
Rys. 22: łożyska samonastawne UCFL 201.

Wybrano łożyska o średnicy otworu wewnętrznego  $\phi=12\text{mm}$  dopasowanej do średnicy wału. Łożyska mocowane są do obudowy za pomocą dwóch wkrętów ISO 8676 M10 x 20 i dokręcane z drugiej strony za pomocą nakrętki gwintowanej ISO 4035 M10.



Rys. 23: Mocowanie łożysk do modułów ruchu.

Mocowanie łożysk do wału w wybranym modelu odbywa się poprzez dwa wkręty dociskowe M6. Dodatkowo łożyska są spozycjonowane za pomocą pierścieni osadczych DIN 471 12x1.



Rys. 24: Zabezpieczenie wału przed przesuwaniem się za pomocą pierścienia osadczego.

Zaletą takich łożysk samonastawnych jest prosta konstrukcja oraz łatwy montaż i demontaż. Dzięki wahlności zespoły mają możliwość kompensacji błędów niewspółosiowości, korygując w ten sposób niedokładności montażowe wału. Łożyska mają skuteczne uszczelnienie, a ich konstrukcja zapewnia zasadę smaru. Powiększony luz promieniowy wpływa korzystnie na kompensację ugięć i odkształceń cieplnych wału. Łożyska kulkowe samonastawne mogą przenosić obciążenia promieniowe i obciążenia osiowe.



Rys. 25: Użyte łożysko

Parametry:

<b>C</b>	12,8 kN
<b>C0</b>	6,65 kN
<b>T min.</b>	-20 °C
<b>T max.</b>	100 °C

Pozostałe dane:

<b>Waga</b>	0,51 kg
-------------	---------

Zalecane momenty dokręcania dla zestawu śrub	5,5 Nm
Oznaczenie oprawy	FL204-
Oznaczenie łożyska	UC201G2

### Wybór silnika

Wybranym silnikiem jest Pololu 1591

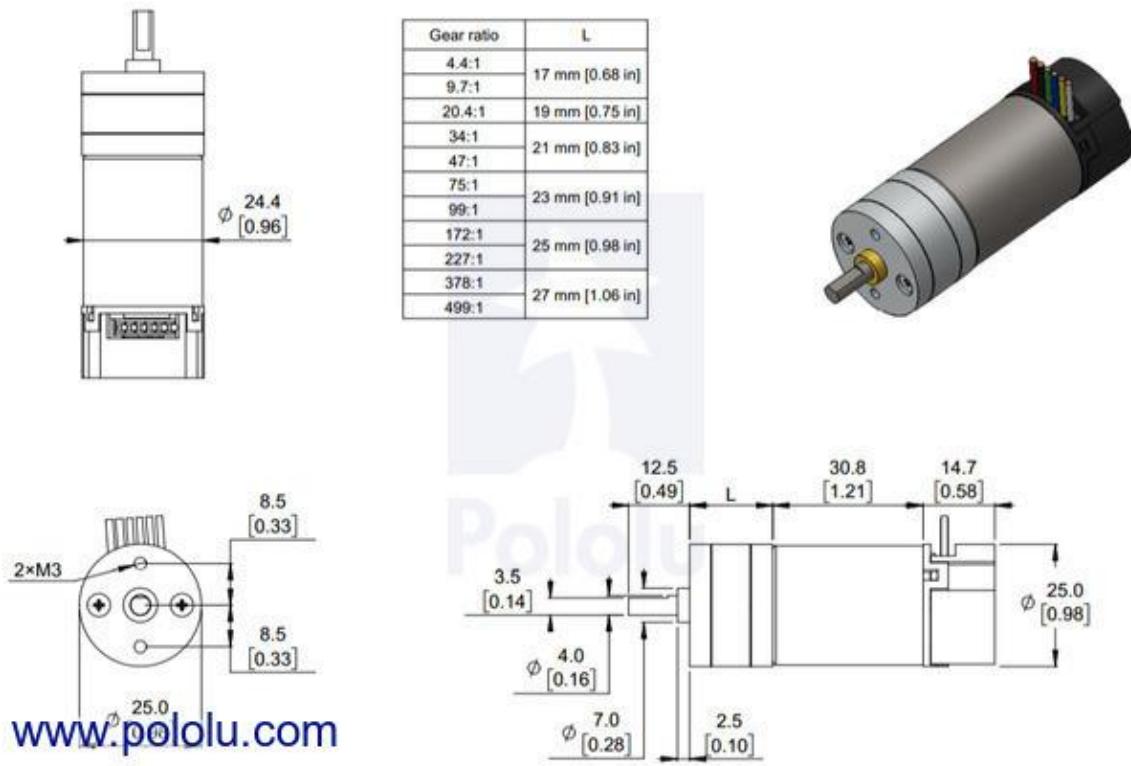


Rys. 26: Silnik Pololu 1591.

Specyfikacja silnika:

	Wartość	Jednostka
Przekładnia	499:1	
Prędkość obrotowa	12	obr/min
Moment obrotowy	2,1	Nm
Max pobór prądu	2,2	A
Napięcie zasilania	6	V
Wymiary		
Średnica	d = 24,4	mm
Długość	L = 70,3	mm
Cena	ok. 85	zł

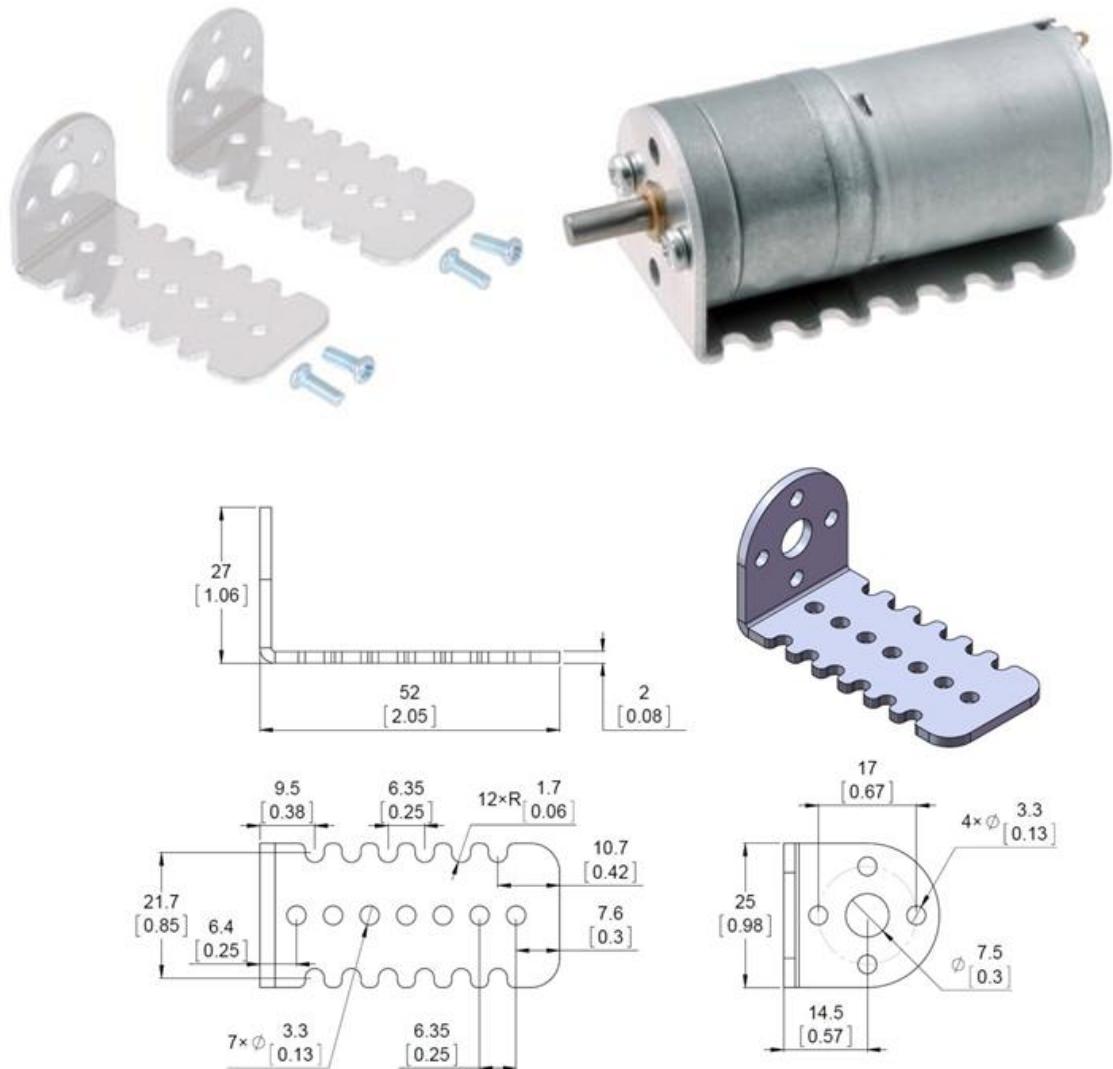
Motywacją do wyboru takiego silnika DC były małe wymiary, niska cena oraz poprzez przekładnię o dużym przełożeniu, duży moment obrotowy, zdolny obrócić moduł deklinacji z teleskopem oraz przeciwagą.



Rys. 27: Wymiary silnika Pololu.

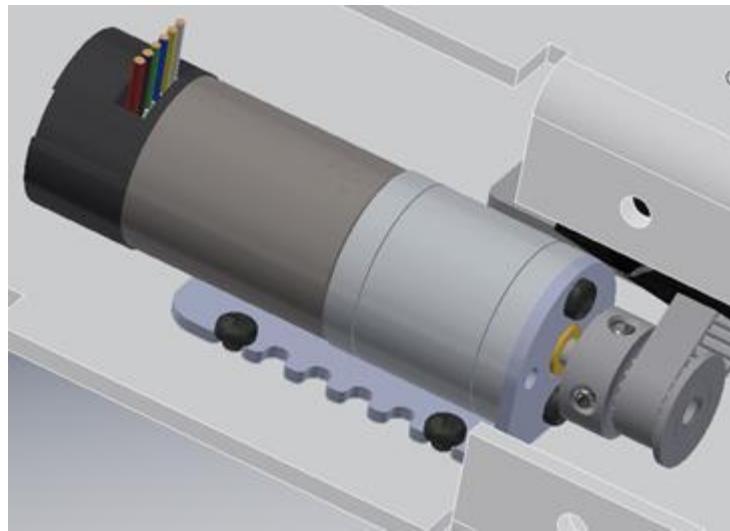
### Mocowanie silnika

Do zamocowania silnika w obudowie wykorzystano handlowy uchwyt #2676 Pololu 25D mm Metal Gearmotor Bracket. Uchwyt przytwierdzony jest do obudowy przy pomocy czterech wkrętów ISO 7045 H M3 x 6.



Rys. 28: Dodatkowa część mocująca silnik Pololu.

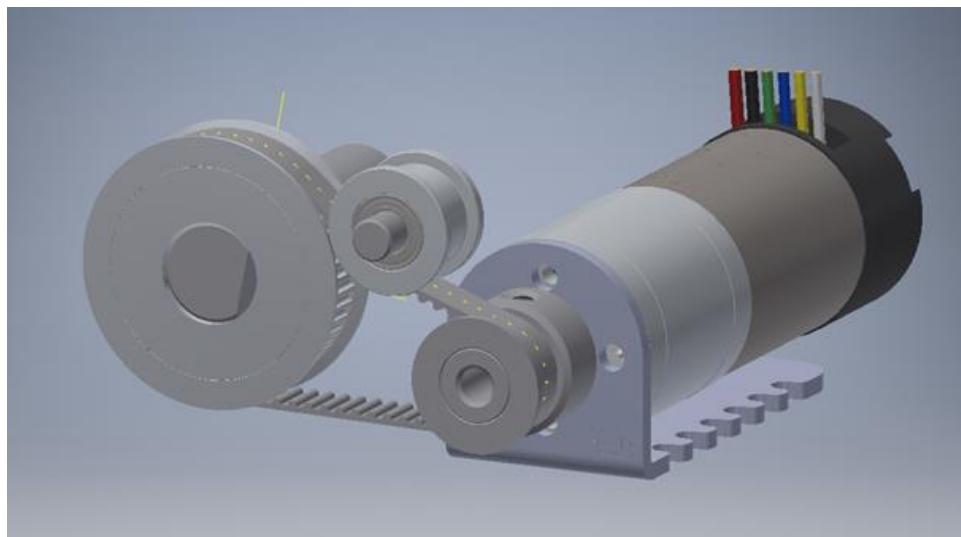
Na czole silnika znajdują się dwa otwory M3, za pomocą których możliwe jest przymocowanie silnika do uchwytu, uniemożliwiające obrót silnika względem układu. Do zamocowania silnika wykorzystano wkręty ISO 7045 Z M3 x 8. Możliwe jest przymocowanie silnika w czterech różnych położeniach względem uchwytu w zależności od tego, jak poprowadzone są przewody zasilające.



Rys. 29: Silnik zamocowany w module ruchu.

### Przekładnia

W projekcie między wałem zapewniającym ruch osi rektascensji, a silnikiem znajduje się przekładnia pasowa z zastosowanymi zębami 2GT oraz przełożeniem 5:2.



Rys. 30: Przekładnia pasowa z wałkiem napinającym.

Sprawność przekładni pasowej wynosi około 90 %, dlatego nadaje się ona doskonale do maszyn sterowanych numerycznie.

Aby zapewnić odpowiednią wytrzymałość przekładni zastosowano pas o szerokości 6 mm

W projekcie zastosowano przekładnię pasową 5:2 składającą się z dwóch kół pasowych: małego koła o 20 zębach i koła dużego o 50 zębach; koła napinającego oraz paska.

Przełożenie:

$$i = \frac{50}{20} = 2,5$$

Moment uzyskany za przekładnią z uwzględnieniem sprawności przekładni.

$$M_{wy} = M_{we} \cdot i \cdot \eta = 2,1 \cdot 2,5 \cdot 0,9 = 4,725 \text{ Nm},$$

gdzie:  $M_{we}$  – moment silnika DC  
i – przełożenie przekładni  
 $\eta$  – sprawność

### Rozdzielcość enkodera

Założenie zdolności rozdzielczej to jedna minuta kątowa. Oznacza to, że jeden pełen obrót osi rektascensji musi być próbowany przynajmniej 21600 razy.

$$n = 360 \cdot 60 = 21600$$

Silnik wyposażony jest w enkoder kwadraturowy o rozdzielcości **48 impulsów** na obrót (po przełożeniu 23945,84 impulsów na obrót).

Dodatkowo rozdzielcość wzrośnie po obliczeniu jej uwzględniając przekładnię pasową.

$$k = 23945,84 \cdot i = 95,783,36 = 23945,84 \cdot 2,5 = 59\,864,6$$

Założenia teoretyczne zostały spełnione  $k > n$ , lecz należy pamiętać, że dokładność pozycjonowania będzie zależała również od mimośrodowości zamocowania kół zębatych. Powoduje to, że faktyczna rozdzielcość położenia teleskopu zmniejsza się. Niemniej jednak jest ona w zupełności wystarczająca i spełnia wymagania postawione urządzeniu.

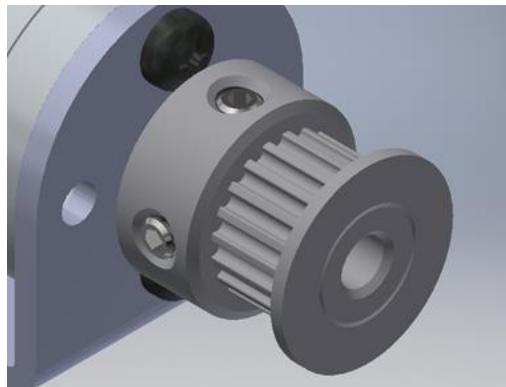
### Małe koło



Rys. 31: Koło z 20 zębami używane w przekładni.

Wybrano popularne koło zębate stosowane w drukarkach 3D - **2GT Timing Belt Pulley** o 20 zębach i średnicy otworu wewnętrznego  $\phi=5\text{mm}$  odpowiadającej średnicy wałka silnika.

Koło mocowane jest na wałku silnika za pomocą dwóch wkrętów dociskowych ISO 4029 M3 x 6. Wałek silnika ma podcięcie, które umożliwia docisk wkręta do płaskiej powierzchni wałka.



Rys. 32: Koło z 20 zębami używane w przekładni osadzone na silniku.

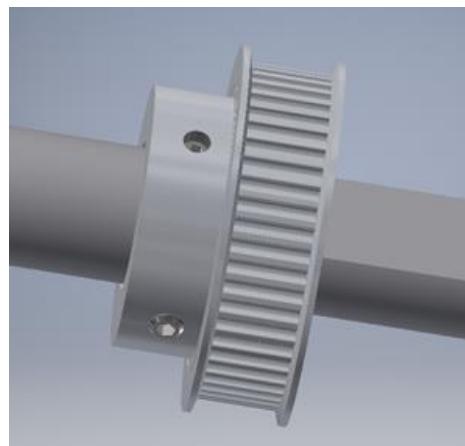
Wybrane zostało takie rozwiązanie ze względu na niską cenę, powszechność stosowania (dostępność) oraz odpowiednią średnicę otworu wewnętrznego. Wybrane koło dostosowane jest do paska **GT2 Timing Belt** 6mm.

### Duże koło



Rys. 33: Koło z 50 zębami używane w przekładni.

Zastosowano koło zębate 2GT Timing Belt Pulley o 50 zębach i średnicy otworu wewnętrznego  $\phi=12\text{mm}$ . Koło mocowane jest na wałku  $\phi=12\text{mm}$  przy pomocy dwóch wkrętów ISO 4029 M3 x 6. Na wałku wyfrezowane jest ścięcie, które zapewnia docisk wkręta do płaskiej powierzchni wałka.



Rys. 34: Koło z 50 zębami używane w przekładni osadzone na wałku.

## Pasek

W rozwiążaniu zastosowano pasek **GT2 Timing Belt 6mm** typu closed loop o długości 158mm. Pasek opiera się na dwóch kołach zębatych, a jego napięcie regulowane jest za pomocą koła napinającego.



Rys. 35: Pasek używany w przekładni o oznaczeniu 2GT.

Zastosowanie paska typu GT2 ma tę zaletę, że jest to pasek bezluzowy. Jego półokrągłe w przekroju zęby charakteryzują się dłuższym czasem stykania paska z zębami koła oraz „gładkim” przejściem pomiędzy kolejnymi zębami.

Zalety pasków GT2:

- dłuższa żywotność paska
- cicha praca paska
- dokładność ustawiania
- większa zdolność przenoszenia obciążen

### Napinacz

Specyfikacja:

- Materiał: stop aluminium
- Powierzchnia anodyzowana

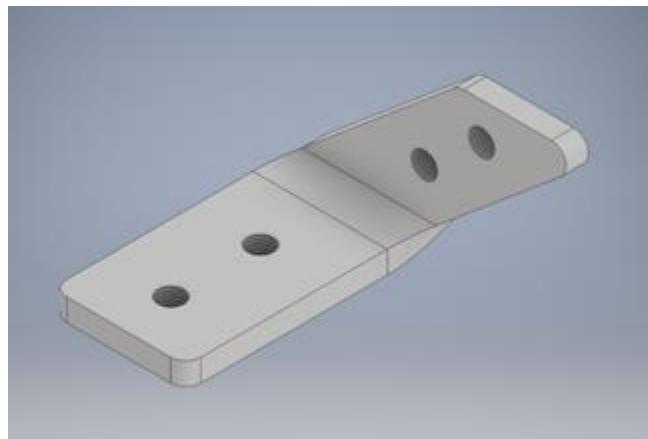


*Rys. 36: Napinacz paska przekładni.*

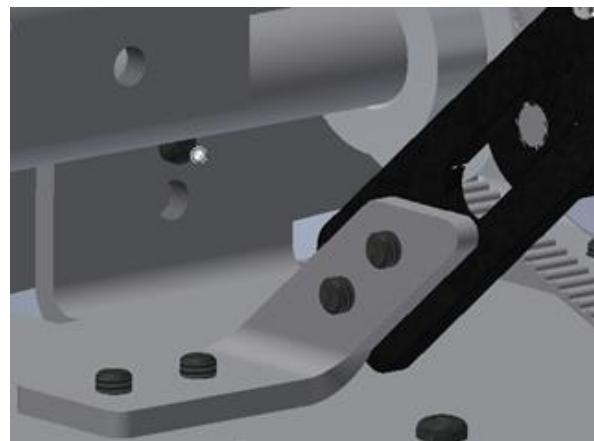
W projekcie zastosowano handlowy aluminiowy napinacz **Sunhokey Upgrade 2020 V-Slot Profile X-axis Synchronous Belt Stretch**. Napinacz ten jest powszechnie wykorzystywany w drukarkach 3D dla pasków 6mm. Wybrane koło napinające jest gładkie – napina pasek poprzez docisk koła do zewnętrznej części paska.

Ramka, do której przymocowane jest koło napinające przesuwana jest wzdłuż otworu fasolkowego za pomocą gwintowanej gałki. W zewnętrznej ramce napinacza umieszczone są dwa otwory pod wkręty mocujące.

Ze względu na upakowanie elementów wewnętrz obudowy modułów uchwyt koła napinającego został zamontowany pod kątem do obudowy za pomocą wygiętej **blaszki (nr rysunku)** na której zaprojektowano cztery otwory gwintowane. Blaszkę zamocowano za pomocą czterech wkrętów ISO 7045 H M4 x 8.



*Rys. 37: Element mocujący napinacz paska przekładni.*



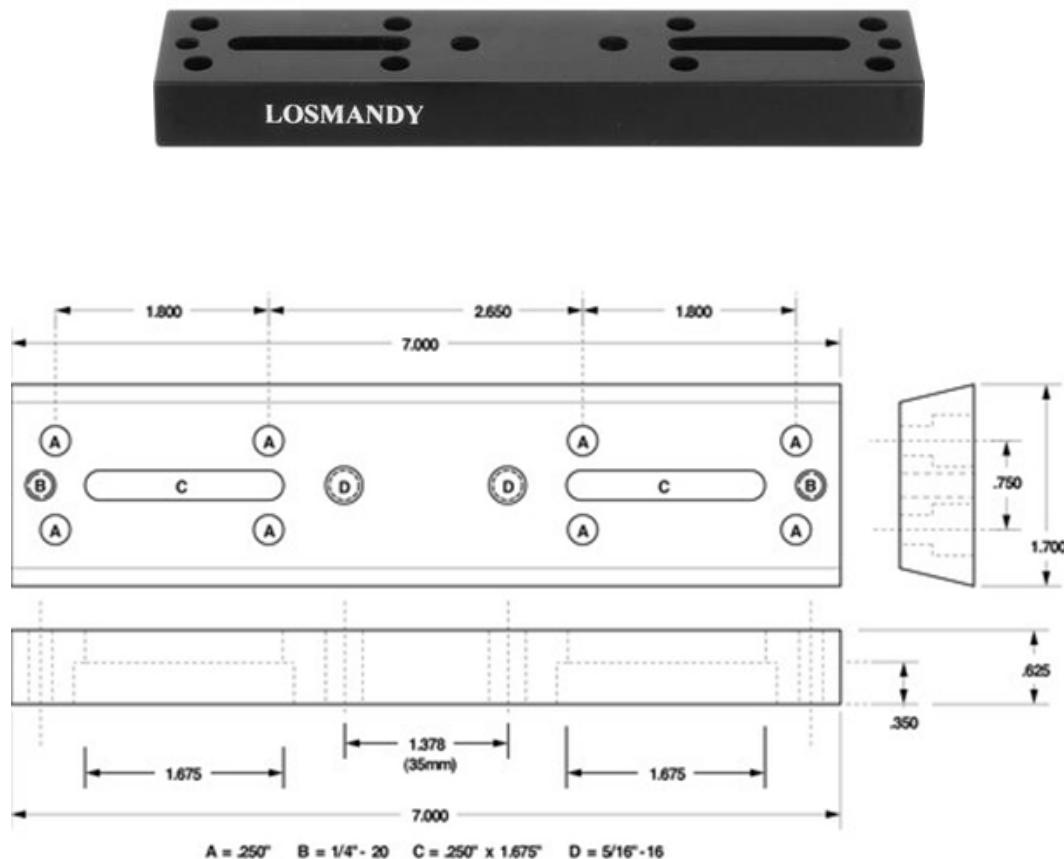
*Rys. 38: Element mocujący napinacz paska przekładni zamocowany w module ruchu.*

## b. Obudowy

Obudowa modułów ruchu, została wykonana z blachy dla maksymalnego zmniejszenia kosztów wykonania w produkcji jednostkowej. Jest to blacha aluminiowa wycinana laserowo o grubości 3 mm, następnie gięta w celu uzyskania odpowiedniej formy.

## c. Mocowanie modułu rektascensji:

W projekcie w mocowaniu modułu rektascensji do elewacji zastosowano 7-calową szynę dovetail typu V (Losmandy V-Series Dovetail Plate (7")).



Rys. 39: Jaskółczy ogon wykorzystywany do mocowania układów ruchu na elewacji.

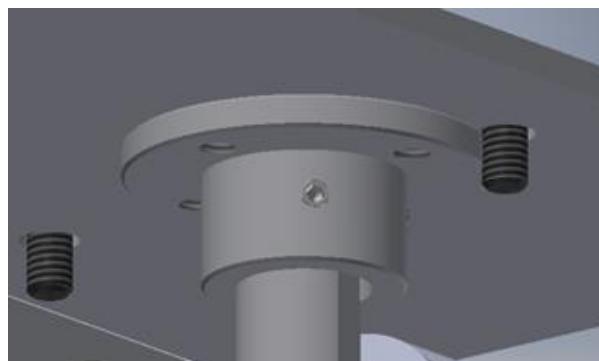
W obudowie modułu rektascensji wykonano 8 otworów gwintowanych  $\frac{1}{4}''$ . Rozstaw otworów odpowiada rozmieszczeniu otworów A na dovetailu. Wybraną szynę przykręcono bezpośrednio do obudowy za pomocą 8 wkrętów calowych  $\frac{1}{4}''$ .

**d. Połączenie modułu deklinacji z modułem rektascensji:**



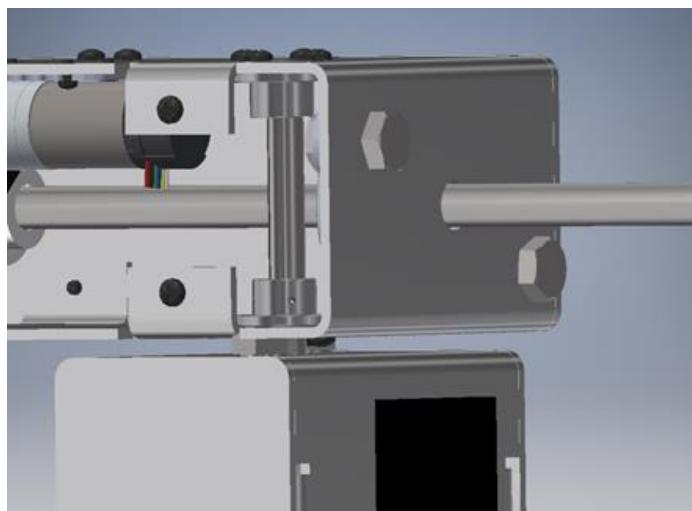
Rys. 40: Kołnierz fi 12.

W obudowie modułu deklinacji zostały zamocowane handlowe kołnierze żeliwne o średnicy otworu wewnętrznego  $\phi=12\text{mm}$ . Kołnierze przykręcane są do dwóch przeciwnieległych ścianek obudowy modułu deklinacji za pomocą czterech wkrętów ISO 7045 H M4 x 5.

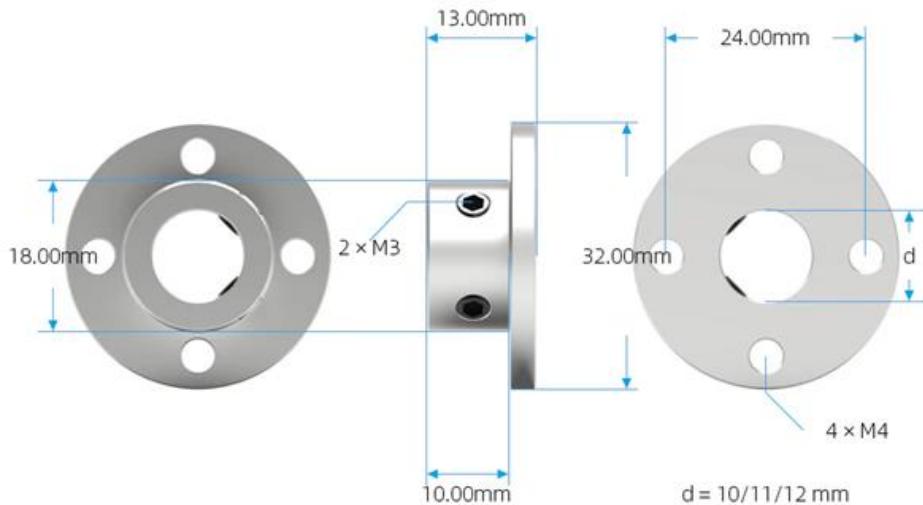


Rys. 41: Kołnierz zamocowany do płytki.

Do mocowania kołnierza do wału wykorzystuje się dwa wkręty dociskowe ISO 4026 M3 x 3 blokujące obrót wałka rektascensji względem modułu deklinacji. W module rektascensji wałek przenoszący obrót został wydłużony o szerokość modułu deklinacji. Zaprojektowano ścięcie służące do uzyskania lepszego docisku wkrętami dociskowymi zarówno koła zębnego jak i kołnierzy.



Rys. 42: Kołnierz fi 12 zamocowany do modułów ruchu.



Rys. 43: Wymiary kołnierza.

#### e. Mocowanie teleskopu

Montaż teleskopu jest zapewniony poprzez uniwersalną szynę dovetail typu V lub D przymocowaną do obudowy teleskopu. W projekcie założono, że teleskop jest umieszczony na szynie typu V o długości 11".



Rys. 44: Elementy montażowe teleskopu.

Wybrany został uchwyt do dovetaila z możliwością mocowania obydwu typów szyny, co pozwala zrezygnować z dodatkowych adapterów. Ze względu na duże gabaryty teleskopu oraz samej szyny dopasowany został uchwyt Losmandy G-11 Saddle Plate - G-11SPDV.

Szyna umieszczana jest w uchwycie, a następnie unieruchamiana przy pomocy dwóch pokręteli dociskających dwie części uchwytu. Zarówno podwójny docisk, jak i długość uchwytu umożliwia mocowanie długich szyn. Na uchwycie umieszczone są dwie pary otworów, służących do zamocowania uchwytu w statywie teleskopu.

Wybrany uchwyt charakteryzuje się wysoką stabilnością, zapewnianą przez dwa pokrętła dociskowe.

Specyfikacja:

- masa: 0,9kg
- grubość: 25mm
- szerokość: 102mm
- długość: 203mm
- zewnętrzne otwory w odległości 3", środkowe otwory w odległości 35mm

Uchwyt na dovetail został połączony z płytą adaptującą za pomocą dwóch wkrętów ISO 4762 M8 x 20 oraz dwóch nakrętek ISO 4032 M8. Płyta ta ma nawiercone cztery otwory z pogłębieniami walcowymi pod wkręty z łbem M3 łączące płytę z kołnierzem oraz dwa otwory M8 do mocowania uchwytu na dovetail w odległości 3".



Rys. 45: Płytki przeznaczone do montażu teleskopu.

Płytki adaptujące są częścią wykonywaną, wycinaną laserowo i wierconą. Centralnie znajduje się otwór  $\phi=12\text{mm}$  pod wałek modułu rektascensji. Wałek modułu rektascensji, podobnie jak wałek modułu deklinacji, zamocowany jest do kołnierza o średnicy otworu wewnętrznego  $\phi=12\text{mm}$  przykręconego do płytki adaptującej i ustabilizowany za pomocą dwóch wkrętów dociskowych ISO 4626 M3 x 3.



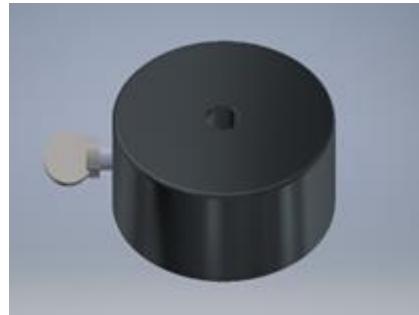
Rys. 46: Moduł mocowania teleskopu.

### Przeciwaga



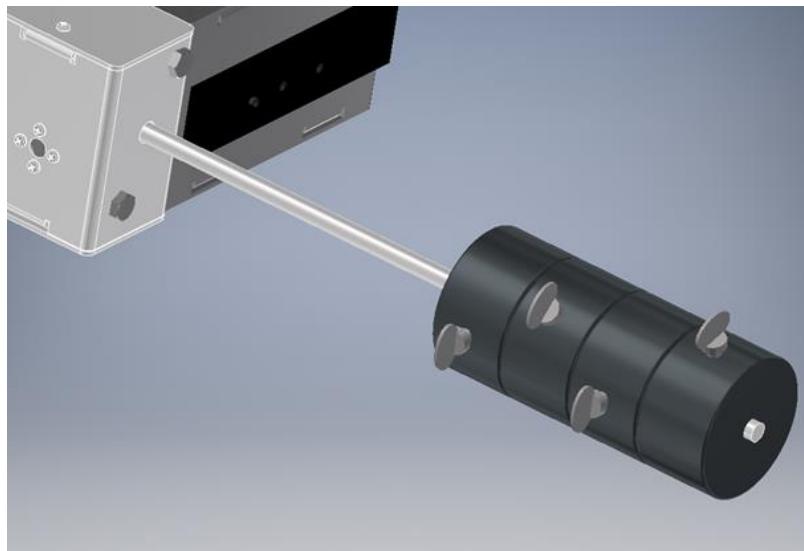
W klasycznym montażu niemieckim – German equatorial mount – istotną rolę pełni przeciwaga. Służy ona do wyrównania wagi z tubusem teleskopu, dzięki temu przy obrocie w osi rektascensji jest wymagany mały moment obrotowy. Pozwala to na zastosowanie małych silników o niewielkim momencie. Teleskop spoczywa podparty z jednej strony ramienia montażu, a na drugim jego masę równoważy przeciwaga. Ma ona postać walcowych ciężarków zamontowanych na końcu modułu deklinacji. W projekcie jest to przedłużony wałek w module deklinacji, do którego przymocowane zostały

ciężarki o średnicy otworu wewnętrznego 12,2mm – dopasowane do średnicy wałka, unieruchomione przy pomocy wkręta dociskowego.



Rys. 47: Model przeciwagi.

Dobór przeciwagi zależy przede wszystkim od masy teleskopu. Wpływ na niego mają również gabaryty teleskopu – w zależności od średnicy teleskopu będzie się zmieniać położenie środka ciężkości. Ze względu na mały wybór przeciwagi dla takiej średnicy wałka dobrano cztery ciężarki o masie 2,3kg (TS-Optics Counterweight 2.3 kg for counterweight rod with 10-12 mm diameter).



Rys. 48: Przeciwagi w modelu systemu paralaktycznego.

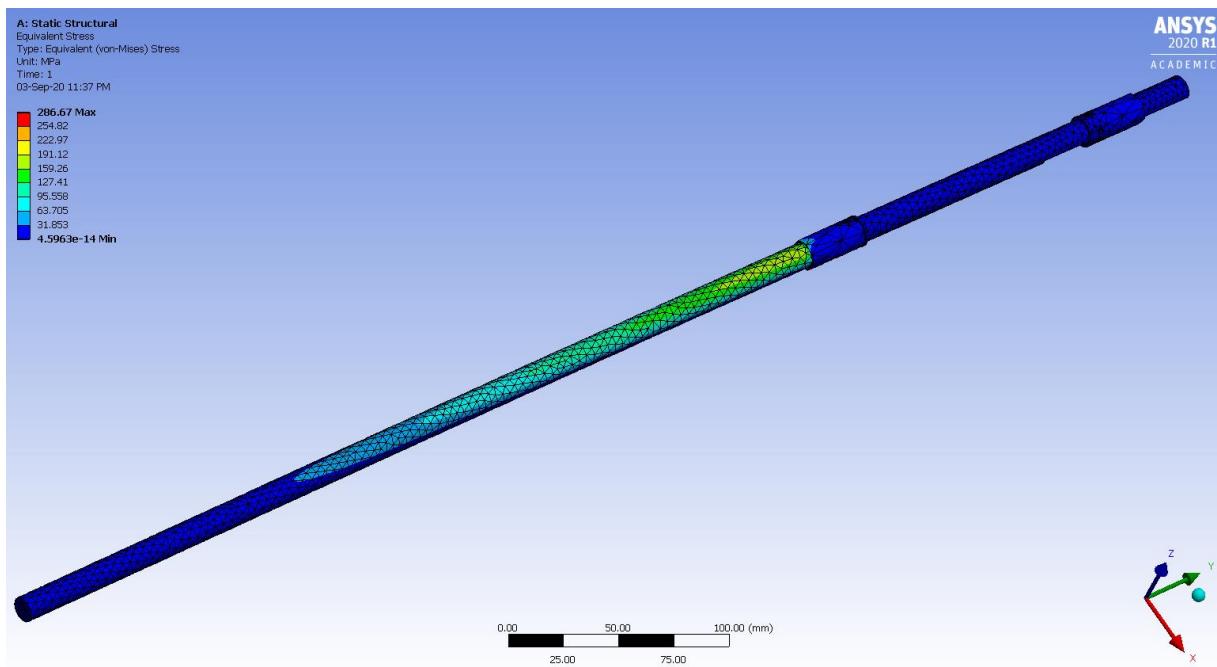
Specyfikacja:

- masa: 2,3kg
- średnica otworu wewnętrznego: 12,2mm
- wymiary: średnica 90mm, wysokość 50mm
- kolor: czarny

- materiał: żeliwo

### Obliczenia wytrzymałościowe

Ze względu na wał o małej średnicy, na której zostały osadzone przeciwagi, została przeprowadzona symulacja w celu dobrania odpowiedniego materiału. Obliczenia zostały przeprowadzone w programie ANSYS wersja studencka.



Rys. 49: Naprężenia Von Mises dla wałka modułu deklinacji.

Ze względu na naprężenia sięgające 300 MPa wałek wykonano ze kwasowej stali martenzytycznej o granicy plastyczności 650 MPa.

### Kosztorys

Nazwa	Liczba sztuk	Cena za 1 szt.	Koszt
Łożysko UCFL 201	4	15,00 zł	60,00 zł

Sunhokey Upgrade 2020 V-Slot Profile X-axis Synchronous Belt Tensioner	2	46,88 zł	93,76 zł
Pololu 25D mm Metal Gearmotor Bracket Pair	1	27,94 zł	27,94 zł
Machifit GT2 Timing Pulley 20 Teeth Synchronous Wheel Inner Diameter 5mm/6.35mm/8mm for 6mm Width Belt CNC Parts - 6.35mm	2	11,33 zł	22,66 zł
] BF-type 2GT Timing Belt Pulley 50 Teeth Bore 12mm CNC Synchronous Wheel	2	23,59 zł	47,18 zł
[17] iOrion 3D Printer Timing Belt 2GT-6 Closed Loop Rubber Belt 158mm Width 6mm	2	10,00 zł	20,00 zł
[18] Kołnierz $\phi=12\text{mm}$	3	5,18 zł	15,53 zł
[19] Uchwyt Losmandy G-11 Saddle Plate - G-11SPDV	1	487,50 zł	487,50 zł
[20] Losmandy V-Series Dovetail Plate (7")	1	183,75 zł	183,75 zł
[21] Losmandy V-Series Dovetail Plate (11")	1	202,50 zł	202,50 zł
Blacha aluminiowa 25cm x 25cm x 5mm	1	27,00 zł	27,00 zł
[22] Pręt ze stali nierdzewnej martzenzytycznej 1.4034 $\phi=12\text{mm}$ , 100cm	1	20,00 zł	20,00 zł
Blachy wycinane laserowo o grubości 3 mm	1	300,00 zł	300,00 zł
[23] TS-Optics Counterweight 2,3kg for rod 10-12mm	4	91,46 zł	365,86 zł
Dodatkowe elementy montażowe	-	20,00 zł	20,00 zł
		<b>Łącznie:</b>	<b>1893,68 zł</b>

## **Elektronika i oprogramowanie urządzenia**

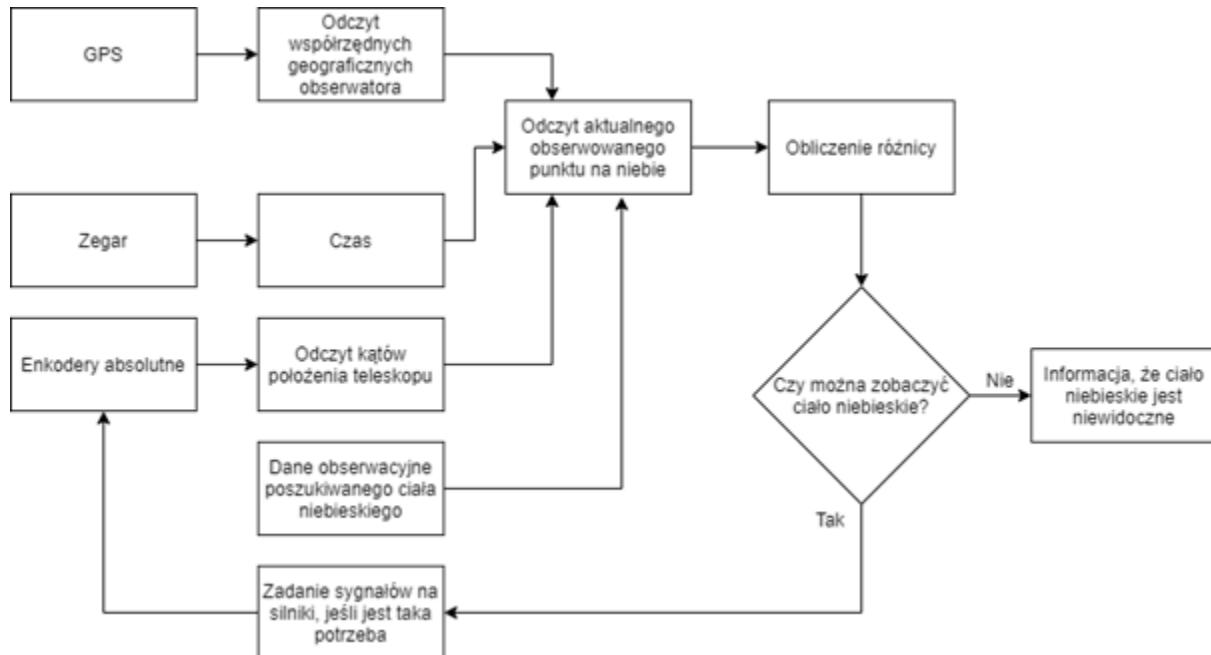
### **Wstęp:**

Głównym zadaniem elektroniki i zaimplementowanego programu jest sterowanie silnikami krokowymi w taki sposób, by teleskop ustawił się na konkretną gwiazdę, a następnie ją śledził w miarę jej ruchu po nocnym niebie. W tym rozdziale będą omówione podstawy teoretyczne, które

posłużą do napisania algorytmów sterowania silnikami, zaprojektowany układ elektroniczny, schemat blokowy sterowania silnikami oraz zademonstrowane zostanie działanie programu.

### Schemat blokowy algorytmu

Uwaga, teleskop musi być ustawiony w osi Północ-Południe. Wynika to z tego, że użytkownik będzie wstanie znacznie precyjniej ustawić w tej osi niż program oparty o odczyt z GPS.



Rys. 50: Schemat blokowy algorytmu

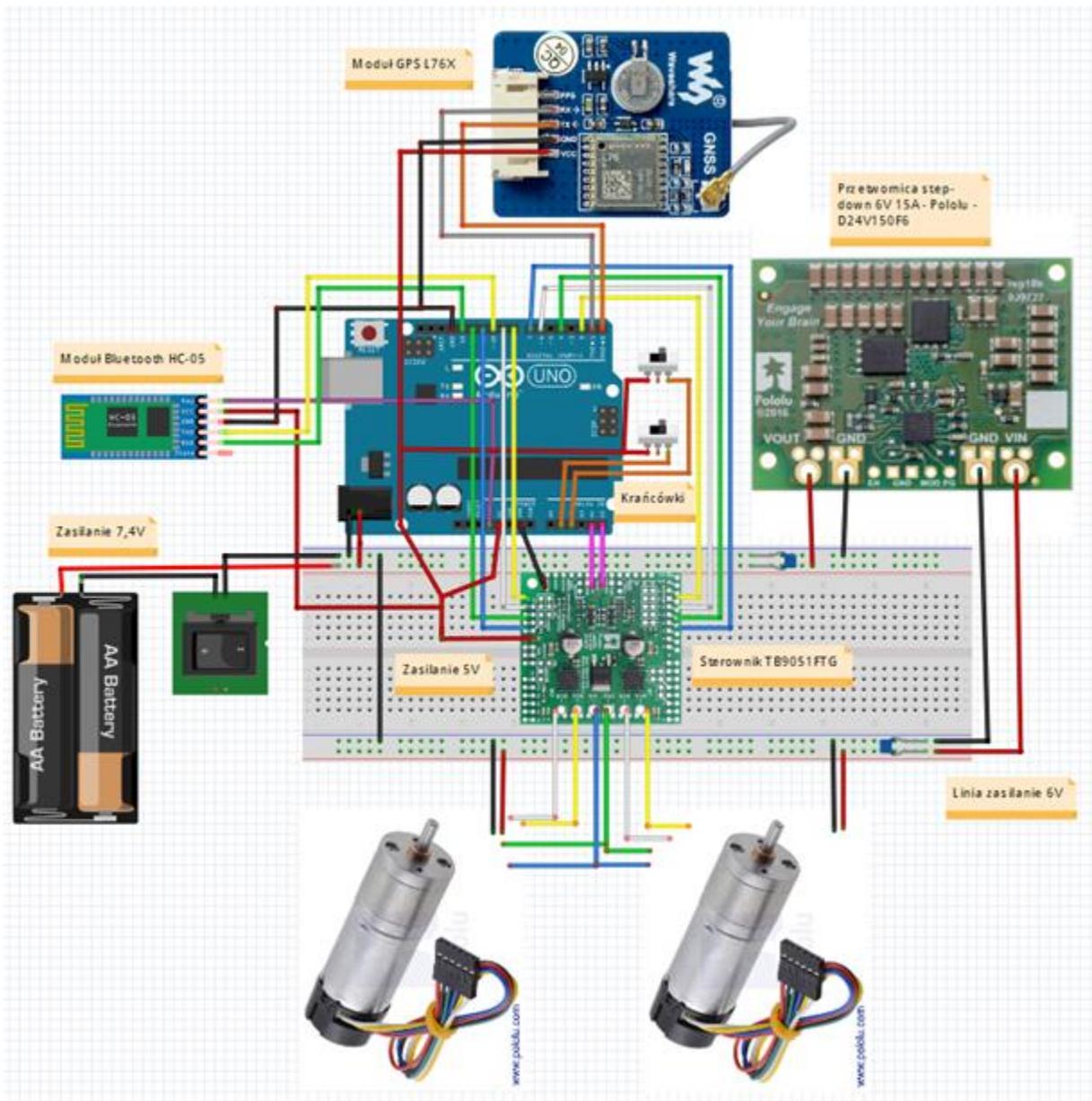
### Zaprojektowany układ elektronicznych

Realizowany układ oprócz wykonywanego algorytmu musi spełniać również szereg innych wymogów wynikających z miejsca zastosowania:

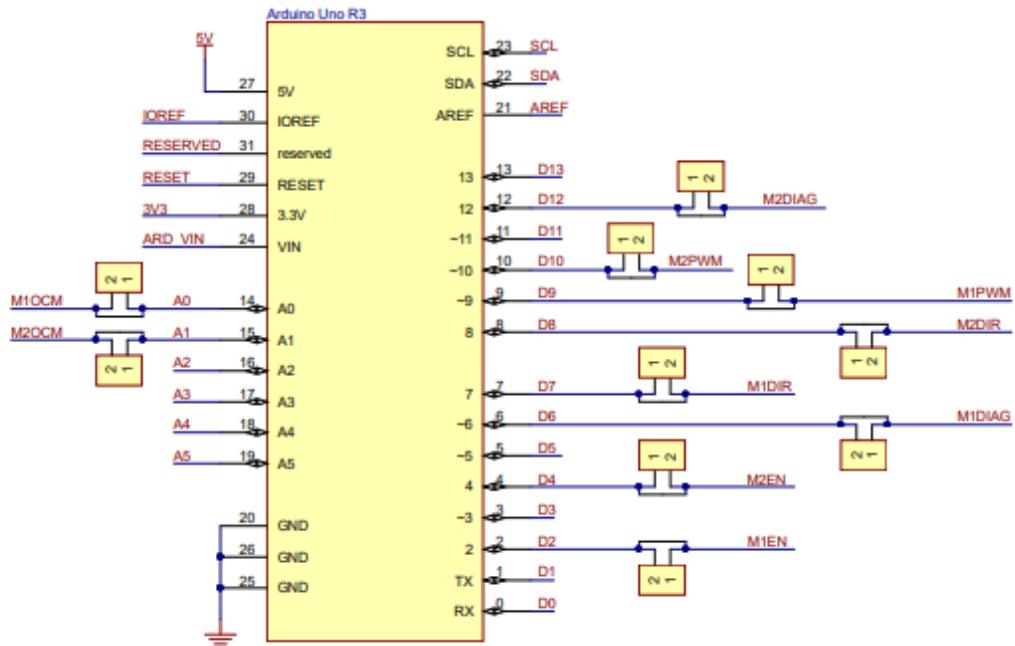
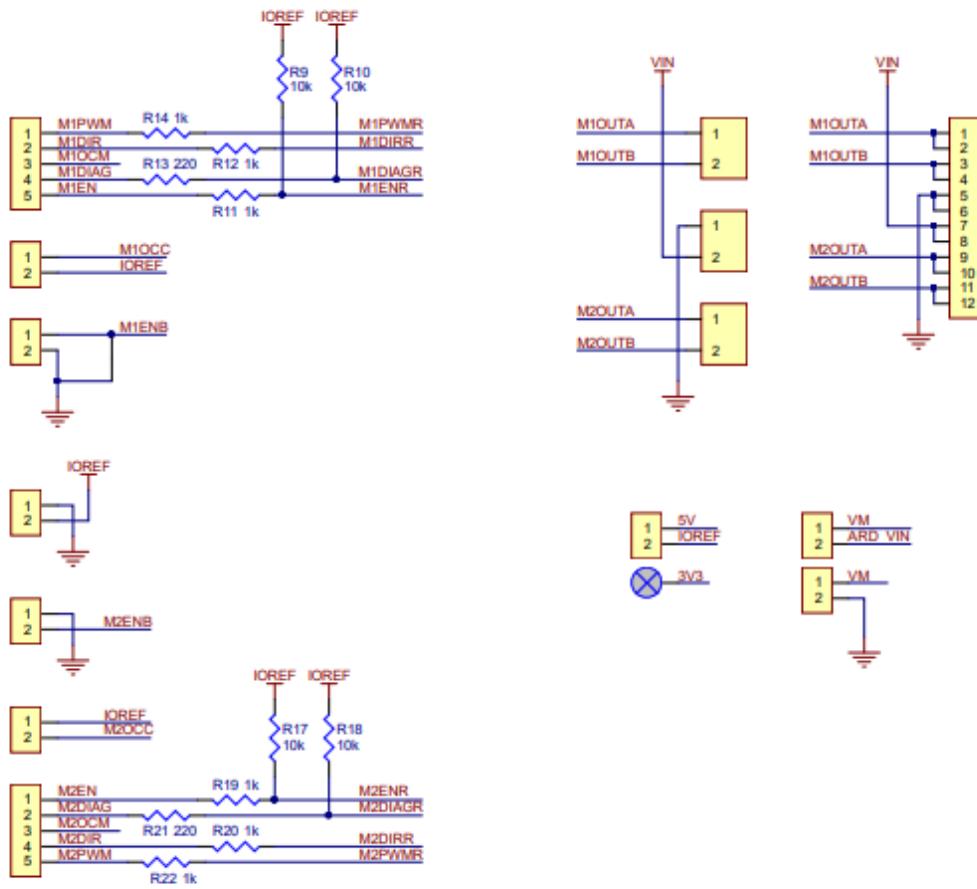
- źródło zasilania pozwalające na uzyskanie odpowiednich prądów i napięcia
- napięcie bezpieczne
- temperatura pracy: od -10 st. C do 30 st. C
- łączna waga do 0.5 kg
- możliwość uzyskania prądów rozładowywania do 8A
- małe wymiary (łączna powierzchnia mniejsza niż 200 cm<sup>2</sup>)
- komunikacja z pulpitem użytkownika

Wyliczenia sprawdzające spełnienie tych kryteriów będą umieszczone już po opisie zastosowanych części.

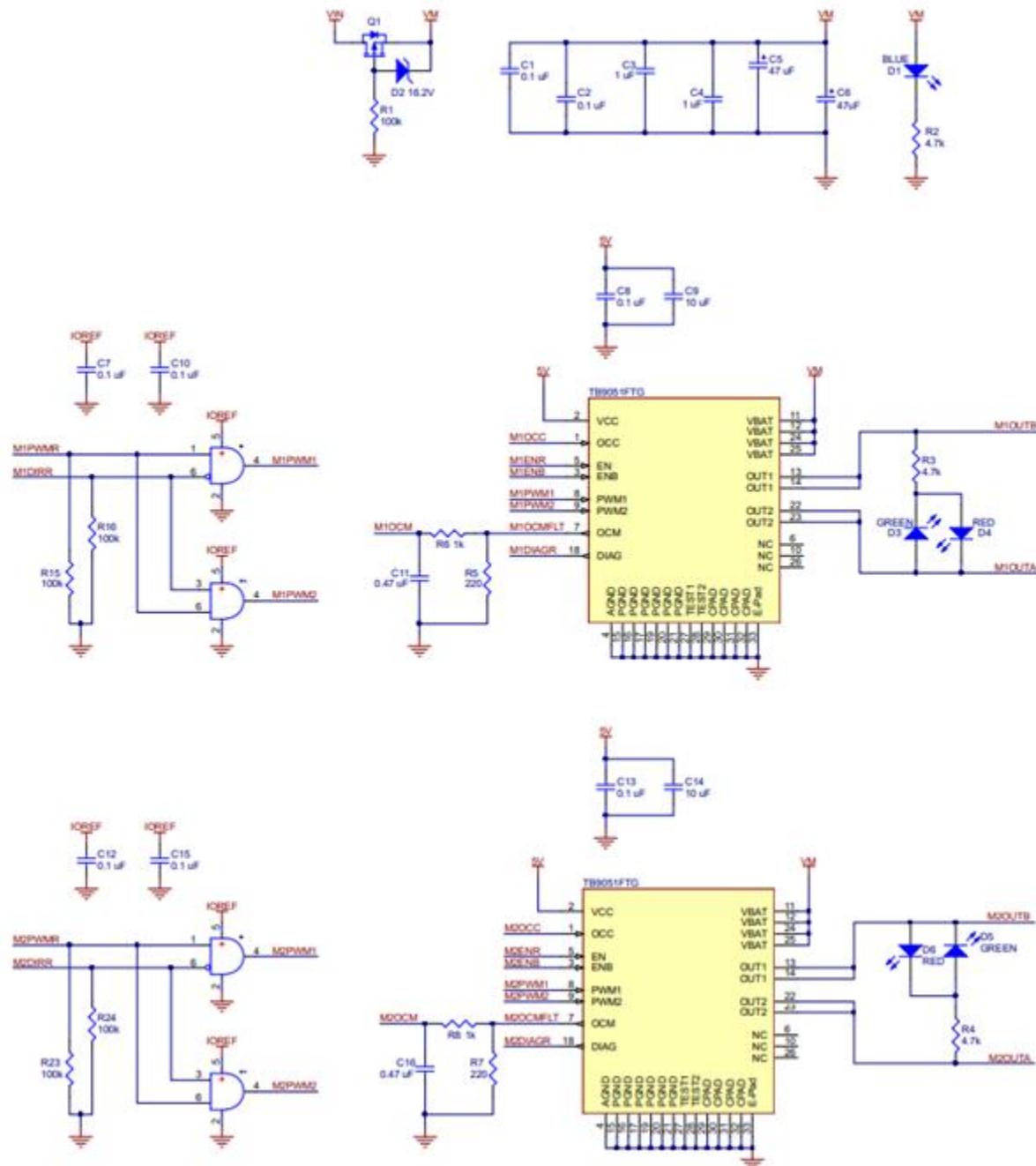
Poniżej są przedstawione schematy połączeń dla całego układu (dla sterownika TB9051FTG z pominięciem dodatkowych komponentów) i szczegółowy schemat dla samego sterownika TB9051FTG. Dwa schematy wynikają, by została zachowana czytelność.



Rys. 51: Schemat podłączeń poszczególnych elementów elektronicznych



Rys. 52: Schemat podłączenia TB9051FTG (część 1)



Rys. 53: Schemat podłączenia TB9051FTG (część 2) [35]

Użyte komponenty:

Mikrokontroler - Arduino Uno Rev3 [36]



Rys. 54: Mikrokontroler Arduino Uno Rev3

Został użyty ze względu na odpowiednią moc obliczeniową, wystarczającą ilość wyprowadzeń pinów cyfrowych, posiadanie interfejsów komunikacyjnych UART i USB. Może być zasilane prądem o napięciu 7-12V. Również ważne jest to, że moduł jest bardzo łatwo programować, oraz jest w posiadaniu członków zespołu.

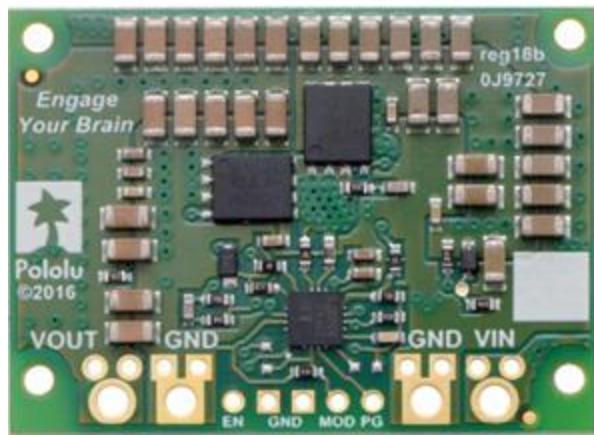
**Zasilanie** – akumulator Li-Ion LG INR18650 MG1 3,7V 2900mAh 10A [37]



Rys. 559LG INR18650

Ze względu na to, że teleskop będzie działał bez możliwości pobierania prądu z sieci, postanowiono użyć zasilania akumulatorowego. Parametrami branymi do wyboru zasilania całej elektroniki i mikrosilników były napięcie znamionowe, pojemność oraz prąd rozładowywania. Do prawidłowego funkcjonowania całej elektroniki napięcie musi być 6V dla silników oraz 7V-12V dla modułu Arduino. Akumulatory są podłączone szeregowo w celu zapewnienia docelowego napięcia 7,4V. Oprócz tego, prądy rozładowania zgodnie z obliczeniami będą wynosiły do 5,8A. Akumulatory to gwarantują z dużą nawiązką, co jest szczególnie ważne w momencie, gdy cały system jest uruchamiany i przez krótki czas są duże prądy rozładowywania. Również ważnym czynnikiem jest pojemność, która powinna być wystarczająca do zasilania całego ponad godzinę. Innym ważną przyczyną wyboru tych ogniw był rozmiar AA, co ułatwia dobór ładowarki przez użytkownika. Pewnym mankamentem jest to, że ten typ akumulatorów ma zmniejszoną pojemność w temperaturach poniżej 0 stopni Celsjusza.

**Przetwornica step down** – D24V150F6 6V 15A – Pololu 2882 [38]



Rys. 56: D24V150F6

Wybór tej przetwornicy wynika z posiadania odpowiedniego napięcia wejściowego 7,2V do 40V zasilanego ogniwami, napięcia wyjściowego 6V umożliwiające uzyskanie odpowiednich napięć na silnikach oraz wysoki prąd wyjściowy 15A, co bez problemowo zasili zastosowane silniki i pozwala na ewentualne zastosowanie bardziej prądożernych silników w przyszłych modyfikacjach.

#### **Sterownik silnika krokowego – Dual TB9051FTG Motor Driver Shield [39]**



Rys. 57: TB9051FTG

Silniki krokowe wymagają sterowników, by móc łatwiej nimi sterować za pomocą mikrokontrolera. Stosuje się zwykle dedykowany układ elektroniczny. Zastosowanie powyższego układu wynika z tego, że jest dedykowany do zastosowanych silników. Oprócz tego producent zapewnia odpowiednie wsparcie w postaci bibliotek oraz schematy podłączeń do modułu Arduino Uno.

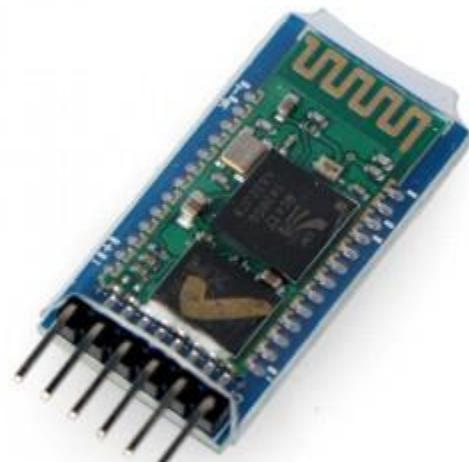
### **Moduł GPS – L76X Multi GNSS [40]**



*Rys. 58: L76X Multi GNSS*

Powyższy moduł lokalizacyjny zastosowano ze względu na szybkie i dokładne pozycjonowanie (do 30s), małe zużycie energii, napięcie zasilania umożliwiające zasilanie bezpośrednio z pinu Arduino, posiadanie już gotowych bibliotek na Arduino oraz małe rozmiary (32x25 mm).

### **Moduł Bluetooth – HC-05 [41]**



*Rys. 59: HC-05*

Powyższy moduł do komunikacji Bluetooth zastosowano ze względu na duży zasięg (10 metrów) oraz małe wymiary.

**Przełącznik bistabilny SMRS101 250V/6,5A [42]**



Rys. 60: SMRS101

Przełącznik został wybrany ze względu na wystarczające obciążenie styków do przewodzenia prądów. Dla niższych napięć np. 125V wynosi one już 13A, co jest wystarczające, by przełącznik. Również ma dużą ilość cykli włącz/wyłącz – ok. 10 000.

Obliczenia sprawdzające czy stawiane wymagania są spełnione:

a. Wymagania prądowe

Maksymalne prądy wymagane przez silniki:  $2,4\text{A} \times 2 = 4,8\text{ A}$

Maksymalne prądy wymagane przez moduł Arduino Uno: 1A

Łączne: 5,8 A

Użyte ogniw mają dopuszczalne prądy rozładowania do 10 A. A więc uda się zasilić całe urządzenie oraz pozostaje dalej możliwość rozwoju urządzenia dodając kolejne elementy jak np. nowy silnik albo ekran użytkownika.

b. Czas działania

Przy podłączeniu szeregowo dwóch ogniwach ich pojemność łączna wyniesie 5,8Ah. Przy maksymalnym zużyciu prądów całe urządzenie będzie działało co najmniej 1h. Należy pamiętać, że w praktyce tylko jeden silnik będzie cały czas pracował kompensując ruch obrotowy ziemi oraz moduł Arduino w tej aplikacji realnie będzie wymagał dużo mniejszych prądów niż 1A. Realny czas działania należy szacować na 1,5-2h. Nie mniej dodając kolejną parę ogniw, w sposób równoległy, czas ten można zwiększyć do 3-4h

c. Masa

Silniki: 2x108g

Arduino UNO: 25 g

Ogniva: 2x31g

Przetwornica step down: 19g

Sterownik silnika krokowego: 11g

Moduł GPS: 9g

Moduł Bluetooth: 13g

Krańcówki: 2x10g=20g

Osprzęt dodatkowy (np. kable, kondensatory, płytka stykowa - szacunkowo): do 100g

Łącznie: do 456g

Łączna masa jest wystarczająca, by nie obciążać zbytnio statywów.

d. Powierzchnia

Arduino UNO: 70x55

Ogniva: 2x 51x15

Przetwornica step down: 43x32

Sterownik silnika krokowego: 50x52

Moduł GPS: 35x26

Moduł Bluetooth: 37x17

Łączna powierzchnia: 108,95 cm<sup>2</sup>

Przy takiej powierzchni powinno się zastosować pudełko o wymiarach np. 11x11 cm oraz wysokości do 5 cm. Nie mniej należy pamiętać, że elementy nie muszą być umieszczone na jednej płytce, ale już w trójwymiarowym pudełku, co prawdopodobnie zmniejszy jego wymiary.

### **Implementacja programu w wersji uproszczonej**

Poniżej znajduje się kod gotowy do wgrania na mikrokontroler Arduino, który z wykorzystaniem wszystkich elementów teleskopu nakierowuje jego oś optyczną na gwiazdę północną (Polaris), nadążnie ją śledzi oraz odczytuje lokalizacje obserwatora i dokładny czas. Głównym celem algorytmu jest sprawdzenie poprawności działania całego programu zanim będzie rozszerzana jego funkcjonalność. Ze względu na brak części pozwalających na zadowalającą realizację fizyczną, program nie został przetestowany na domyślnej konfiguracji sprzętowej.

```

1 // Do sterowników silnika
2 #include "DualTB9051FTGMotorShield.h"
3 DualTB9051FTGMotorShield md;
4 // Definicja PINÓW do silników jest nie potrzebna. Trzeba połączyć tak jak na schemacie od producenta.
5
6 // Do GPSa
7 #include <SoftwareSerial.h>
8 #include "DEV_Config.h"
9 #include "LJ6X.h"
10 GPRMC GPS1;
11 //Tutaj też nie trzeba definiować dodatkowych pinów . Wykorzystuje piny RX i TX.
12
13 // Do odczytu danych z Bluetootha
14 #include <SoftwareSerial.h>
15 #define rxPin 10
16 #define txPin 12
17 #define baudrate 38400
18 String msg;
19 SoftwareSerial hc05(rxPin ,txPin);
20
21 //Do obliczen matematycznych
22 #include <math.h>
23
24 int PolarAxisPin = A3; //piny do kranieców
25 int DeclinationAxisPin = A4;
26 int PrawdziweZeroEnkoderaM1 = 0;
27 int PrawdziweZeroEnkoderaM2 = 0;
28
29
30 int ImpulsyNaObrot = 48*2.5; // ilość impulsów na jeden obrót całej osi urządzenia
31 int PolarisDeklinacja = 89.26411; //w stopniach
32 int PolarisRaktascensja = 2.53; // w godzinach
33 int GMT_time = 0; // w godzinach: Czas Greenwich
34 int Motor2speed = 12; //RPM: maksymalna prędkość użytego silnika
35 int Motor2const = 400/(Motor2speed/2.5)*60*24; // [-]: Stała prędkość silnika od osi raktascensji do nadajnego śledzenia nieba
36 int WyborSilnika = 0;
37
38 int hour = 0;
39 int minute = 0;
40 int second = 0;
41 int temp = 0;
42
43 //Zalozenie - silnik 1 jest do osi deklinacji, a silnik 2 do osi biegunowej
44 // Stosujemy enkody inkrementalny
45 void setup() {
46     md.init(); //inicjalizacja sterownika do silników
47
48     pinMode(rxPin,INPUT);
49     pinMode(txPin,OUTPUT);
50
51     Serial.begin(9600); //do wysyłania wiadomości przez bluetootha do aplikacji
52 }
53
54 void loop() {
55     md.enableDrivers(); //zakładanie sterowników silników
56     delay(); // wait for drivers to be enabled so fault pins are no longer low
57     sterowanie_posycji(); //sterowanie teleskopu i enkoderów, w celu odnalezienia swojej pozycji
58
59
60     while ( ImpulsyNaObrot*PolarisDeklinacja/10 >= readM1Encoder() - PrawdziweZeroEnkoderaM1 ) { // gdy dojdzie to stanie na gwiazdkę polarnej
61         void setM1Speed(100);
62     }
63     void setM1Speed(); //ustawianie osi deklinacji
64
65     GPS1 = LJ6X_Get_GPRMC();
66     GMT_time = GPS1.Time_H * 1 + (GPS1.Time_M + GPS1.Time_S/60)/60; //czas Greenwich //~2 dla naszej strefy czasowej
67
68     while( readM2Encoder() - PrawdziweZeroEnkoderaM2 - 1 <= ImpulsyNaObrot*(GMT_time + GPS1.Lon - PolarisRaktascensja)/10 <= readM2Encoder() - PrawdziweZeroEnkoderaM2 + 1) {
69         //Gdy znajdziemy się widelach, zatrzymaj się
70         void setM2Speed(100);
71         GPS1 = LJ6X_Get_GPRMC();
72         GMT_time = GPS1.Time_H * (GPS1.Time_M + GPS1.Time_S/60)/60;
73     }
74     void setM2Speed(-Motor2const); //ustawianie osi biegunowej i nadajne podanie
75 }
```

```

75
76     while(1){ //Wlasciwy nieskonczony program
77     // Sterowanie silnikami
78     if(BluetoothData=='0') {
79         void setM1Speed(0);
80         void setM2Speed(Motor2const);
81     } // Stop
82     if(BluetoothData=='1') {
83         void setM1Speed(400);
84     } //Do gory
85     if(BluetoothData=='3') {
86         void setM1Speed(-400);
87     } //Do dolu
88     if(BluetoothData=='2') {
89         void setM2Speed(400);
90     } //Do gory
91     if(BluetoothData=='4') {
92         void setM2Speed(-400);
93     } //Do dolu
94
95     // Wyświetlenie danych w aplikacji
96     Serial.print("//T"+String(GPS1.Time_H)+String(":") +String(GPS1.Time_M)+String(":") +String(GPS1.Time_S)+"");
97     Serial.print("//D"+String(GPS1.Lon)+"");
98     Serial.print("//S"+String(GPS1.Lat)+"");
99     Serial.print("//E"+String(ImpulsyNaObrot*(readM1Encoder() - PrawdziweZeroEnkoderaM1))+String('st')+"");
100
101    //Przeliczenie raktascensji na format zapisu godzinowego
102    GPS1 = LT6K_Get_GNRMC();
103    temp = GMT_time + GPS.Lon - PolarisRaktascensja)/24;
104    hour = floor(GMT_time);
105    minute = floor((hour-GMT_time)*60);
106    second = minute - (hour-GMT_time)*60;
107
108    Serial.print("//R"+String(hour)+String('h ')+String(minute)+String('m ')+String(second)+String('s')+"");
109
110 }
111
112 void zerowanie_posycji()
113 {
114     while ( 4.0 >= analogRead(D declinationAxisPin) ){ // gdy dojedzie do krańcówki to stanie
115         void setM1Speed(-400)
116     }
117     void setM1Speed(0)
118
119     while ( 4.0 >= analogRead(PolarAxisPin) ){ // gdy dojedzie do krańcówki to stanie
120         void setM2Speed(400)
121     }
122     void setM2Speed(0)
123
124     PrawdziweZeroEnkoderaM1 = readM1Encoder(); //Zresetowanie enkodera
125     PrawdziweZeroEnkoderaM2 = readM2Encoder(); //Zresetowanie enkodera
126

```

Powyższy kod skupia się na realizowaniu stawianych przed nim wymagań. Z pewnością kod wymaga zoptymalizowania - mniej pętli, uproszczenie obliczeń, sprawdzenie czy użyte stałe są odpowiednie. Oprócz tego, kod wymaga długotrwałych testów sprawdzających, np. czy po 2 godzinach działania, dalej najeżdżą na tą samą pozycję albo czy nie trzeba wprowadzić jakieś poprawki ze względu na niedoskonałości wykonawczych części mechanicznych oraz silników. Również jest potrzeba zastosowania enkoderów absolutnych zamiast inkrementalnych, co ułatwi odczytywanie danych i rzadszą kalibrację, niż co uruchomienia teleskopu.

## Pulpit użytkownika

Wykorzystując aplikację „Bluetooth electronic” zaprojektowano interfejs użytkownika. Telefon użytkownika łączy się poprzez bluetooth z teleskopem, a następnie pobiera potrzebne informację i umożliwia sterowanie.



Rys. 61: Interfejs użytkownika

Interfejs informuje użytkownika o aktualnym czasie i jego pozycji geograficznej – pobierając dane pochodzące z modułu GPS. Oprócz tego wyświetla informację o aktualnie obserwowanej pozycji na niebie wykorzystując do tego dane z enkoderów. Joystick umożliwia sterowanie silnikami i w ten sposób regulować pozycję na niebie.

### Kosztorys

Nazwa	Sztuk	Cena za 1 szt.	Koszt
Arduino UNO	1	92,00 zł	92,00 zł
499:1 Metal Gearmotor 25Dx73L mm LP 6V with 48 CPR Encodera firmy Pololu	2	130,00 zł	260,00 zł
Akmulator LG INR18650 MG1	2	7,00 zł	14,00 zł
L76X GPS Module	1	73,00 zł	73,00 zł
Przetwornica step-down D24V150F6	1	170,00 zł	170,00 zł
Sterownik TB9051FTG	1	75,00 zł	75,00 zł

HC-05 Bluetooth Module	1	35,00 zł	35,00 zł
Drobny osprzęt: kondensatory/rezystory/kable/przełącznik on/off itd.	-	100,00 zł	100,00 zł
		<b>Całość:</b>	<b>819,00 zł</b>

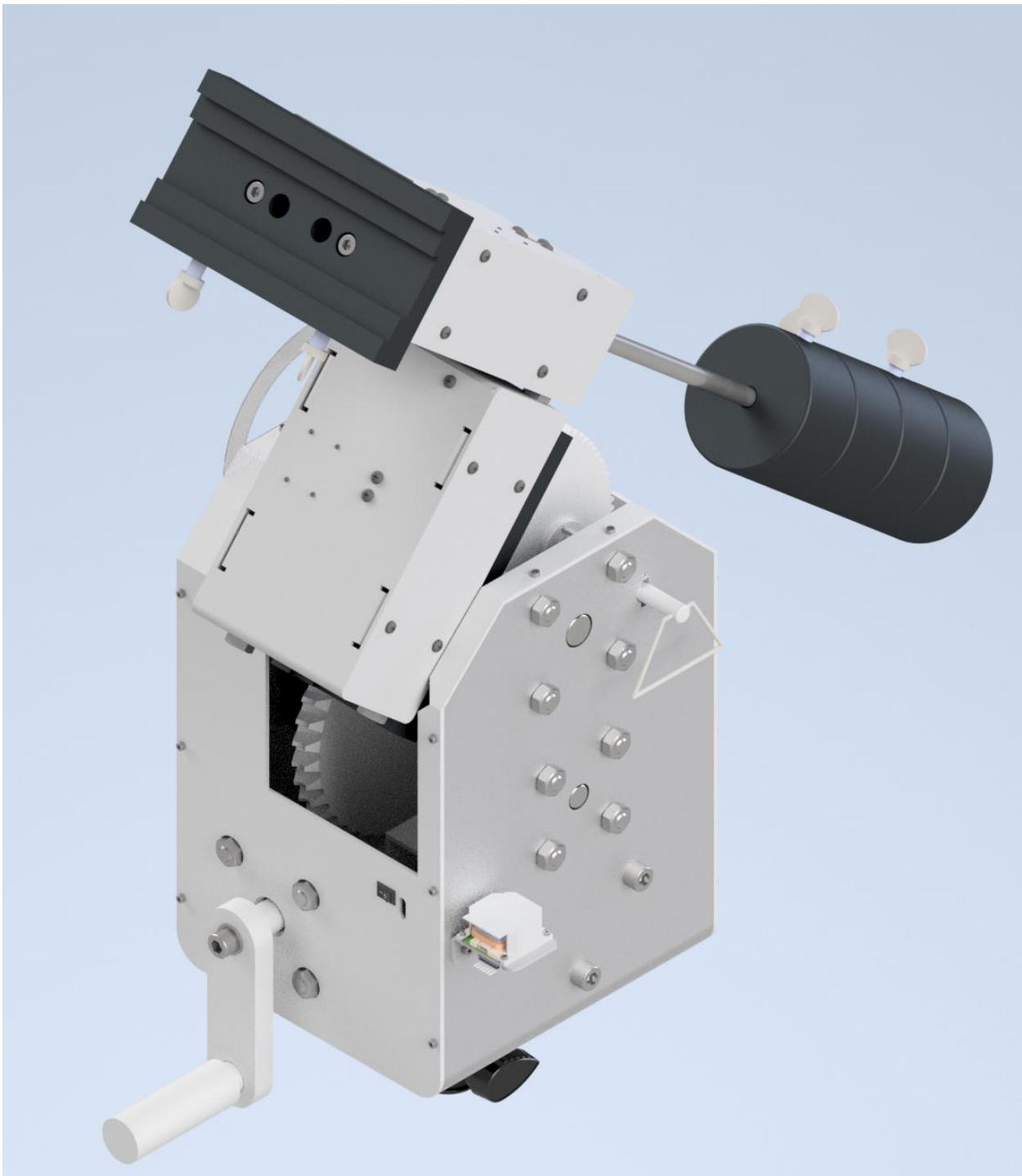
## 5. Podsumowanie

Całkowity zbiorczy koszt urządzenia (bez teleskopu): 2298,50 + 1893,68 + 819,00 = **5011,18 zł**

Całkowita masa urządzenia (bez teleskopu): **33,376 kg**

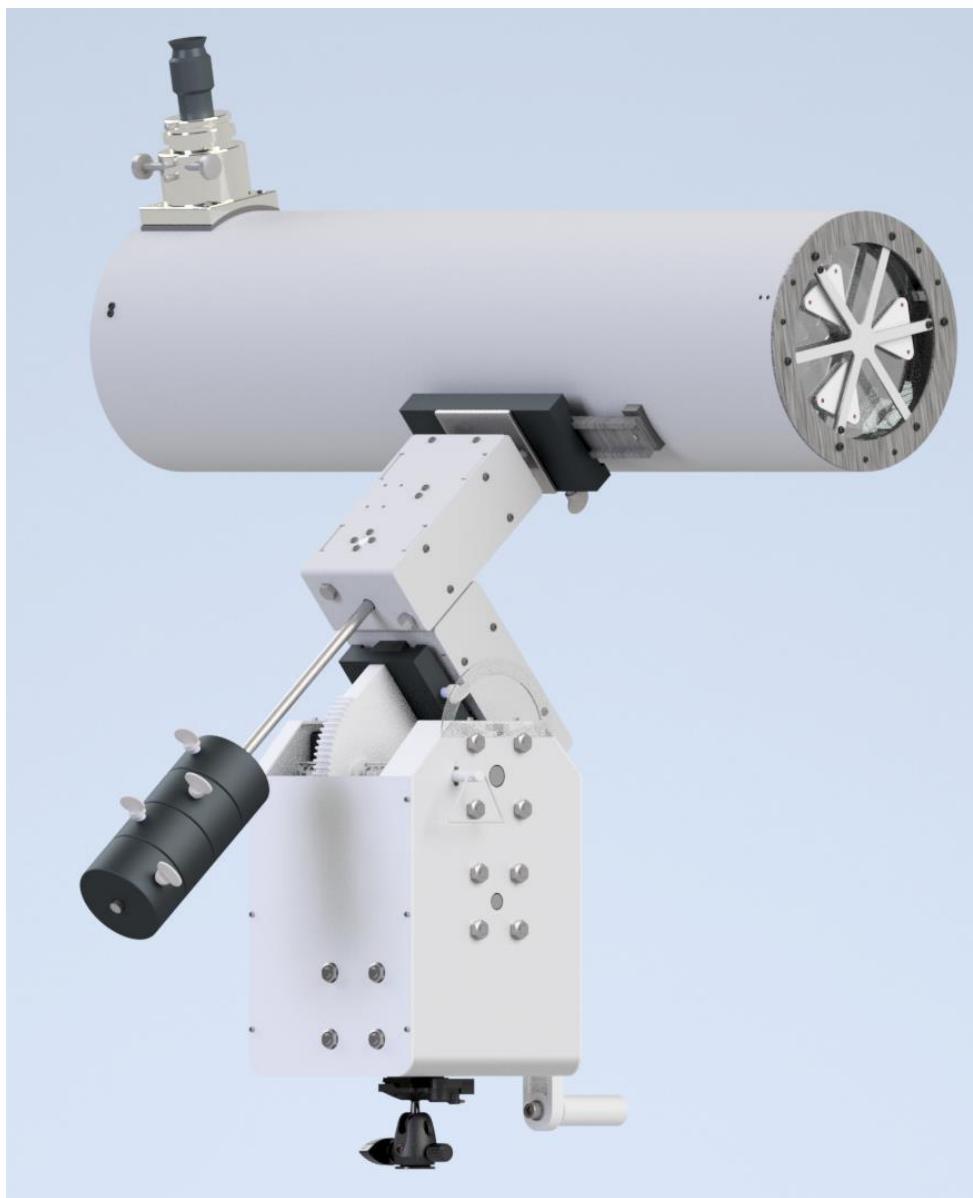
Zrealizowany projekt montażu równikowego pozwala na montaż dowolnego teleskopu posiadającego szynę typu jaskółczy ogon w standardzie *Losmandy*, z wykorzystaniem odpowiednich przeciwwag.

Założenia projektowe zostały zrealizowane, należy jednak nadmienić, że wynikowe urządzenie jest dość drogie i dość masywne. Z pewnością w kolejnych iteracjach projektowania możliwe byłoby uproszczenie konstrukcji i minimalizacja kosztów. Wykorzystanie m.in. blach giętych w projekcie pozwala na rozpoczęcie procesu przygotowania urządzenia do produkcji seryjnej.



Rys. 62: Model 3D całego montażu paralaktycznego





Rys. 63: Model 3D całego montażu paralaktycznego wraz z zamontowanym teleskopem

## 6. Źródła

[1] <https://fas.org/man/dod-101/sys/land/row/d-30.htm>

[2] United States. Department of the Army 1981. *Principles of Artillery Weapons*. Headquarters, Department of the Army.

[3] Katalog firmy SKF: <https://www.skf.com/group/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/flanged-ball-bearing-units>

[4] <https://www.montalvo.com/products/c-friction-pads/>

[5] <https://www.123bearing.eu>

[6] <https://3dprintingindustry.com/news/how-to-accurately-price-for-stereolithography-sla-3d-printing-projects-171977/>

[7] <https://allegro.pl/oferta/pret-nierdzewny-kwasoodporny-fi-15-mm-50-cm-inox-5642728642>

[8] <https://allegro.pl/oferta/pret-nierdzewny-kwasoodporny-fi-20-mm-100-cm-inox-5642793413>

[9] <https://www.ebmia.pl/3480-sruby-nakretki-podkladki-wkrety>

[10] <https://www.sodemann-sprezyny.pl/produkty/sprezyny-naciskowe/zakres-a-b-stal-nierdzewna>

[11] <https://www.montalvo.com/products/c-friction-pads/>  
<https://www.aliexpress.com/popular/friction-pad.html>

[12] <https://allegro.pl/oferta/ucfl-201-lozysko-samonastawne-w-oprawie-ucfl201-6521656368>

[13] <https://grabcad.com/library/complete-library-of-bearings-flange-type-bearing-unit-02-holes-1>

[14] <https://www.albeco.com.pl/PL-H94/Oferta/Search/catID=16/lozyska-samonastawne.html>

[15] [https://www.teleskop-express.de/shop/product\\_info.php/language/en/info/p4283\\_TS-Optics-Counterweight-2-3-kg-for-counterweight-rod-with-10-12-mm-diameter.html](https://www.teleskop-express.de/shop/product_info.php/language/en/info/p4283_TS-Optics-Counterweight-2-3-kg-for-counterweight-rod-with-10-12-mm-diameter.html)

[16] <http://wsinf.edu.pl/assets/img/pdf/Zeszyty%20naukowe/vol.15/art02.pdf>

[17] <https://grabcad.com/library/thumb-screw-1>

[18] [https://www.bhphotovideo.com/c/product/1279964-REG/losmandy\\_vup4\\_v\\_series\\_universal\\_dovetail\\_plate.html](https://www.bhphotovideo.com/c/product/1279964-REG/losmandy_vup4_v_series_universal_dovetail_plate.html)

[19] <https://pl.aliexpress.com/item/4000221287535.html>

[20] [https://www.bhphotovideo.com/c/product/1279964-REG/losmandy\\_vup4\\_v\\_series\\_universal\\_dovetail\\_plate.html](https://www.bhphotovideo.com/c/product/1279964-REG/losmandy_vup4_v_series_universal_dovetail_plate.html)

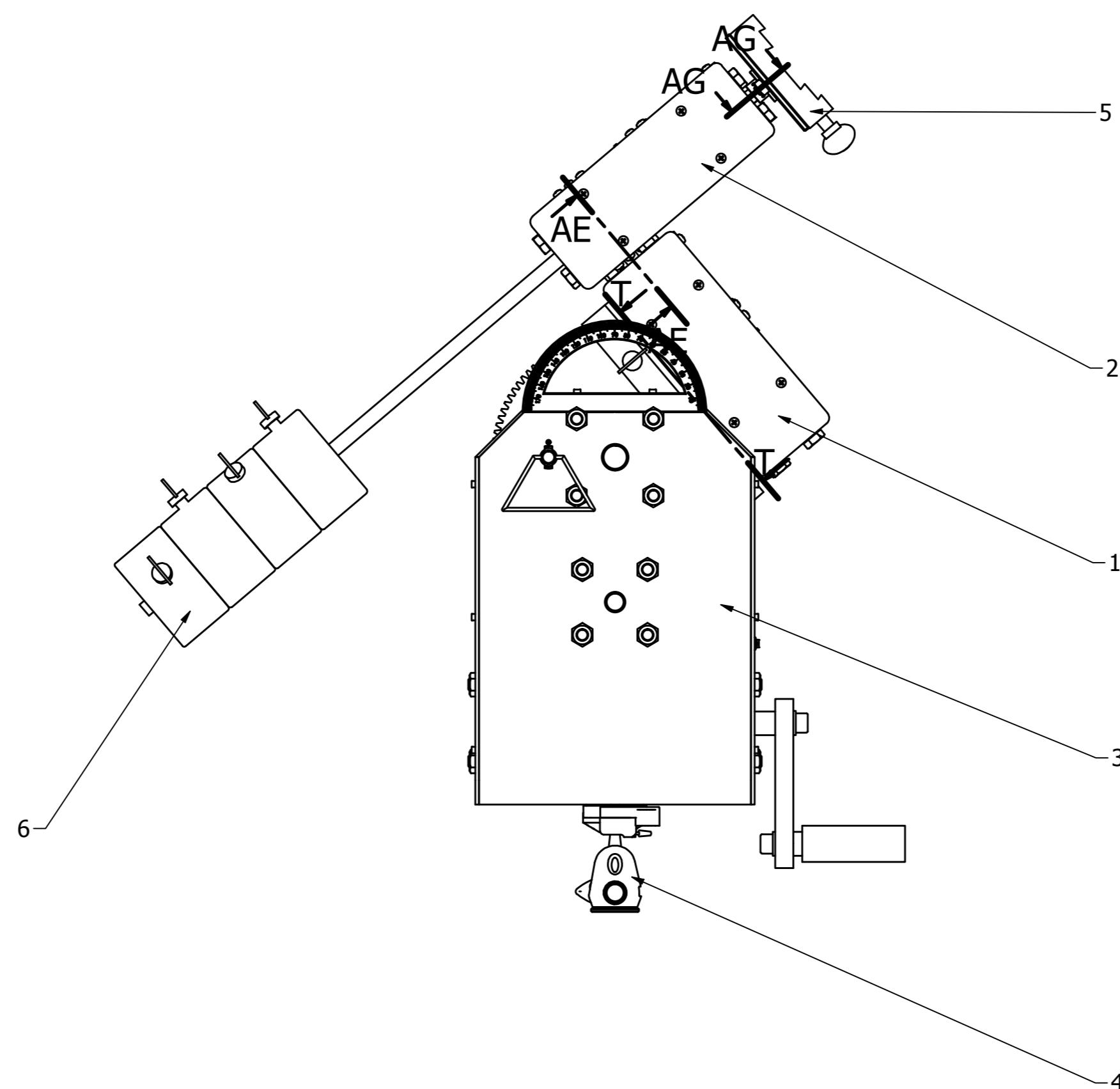
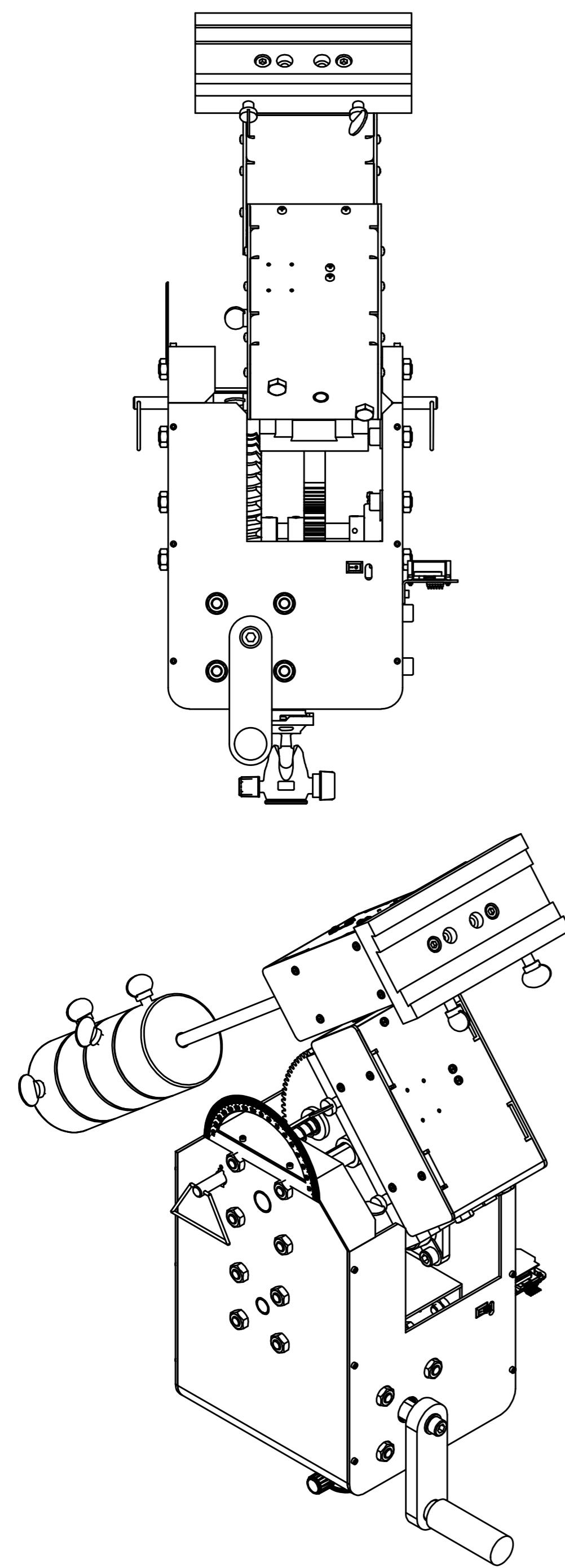
[21] <https://www.amazon.com/Sunhokey-Synchronous-Straighten-Compatible-Accessories/dp/B081GW58LZ>

[22] <https://grabcad.com/library/gates-powergrip-2gt-smooth-idler-6mm-belt-12mm-od-5mm-id-e3d-1>

[23] <https://grabcad.com/library/star-knob-m6-male>

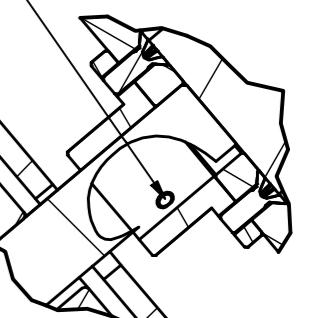
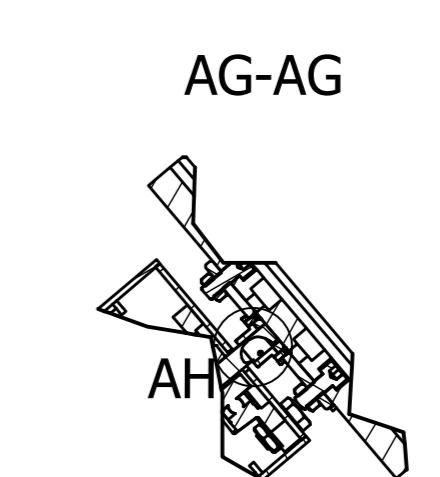
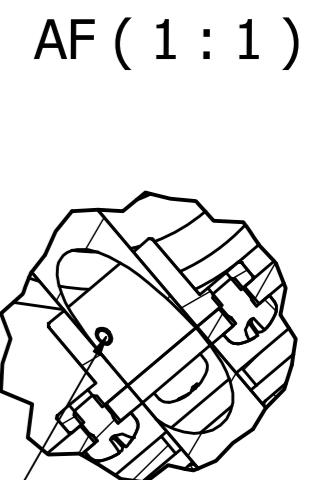
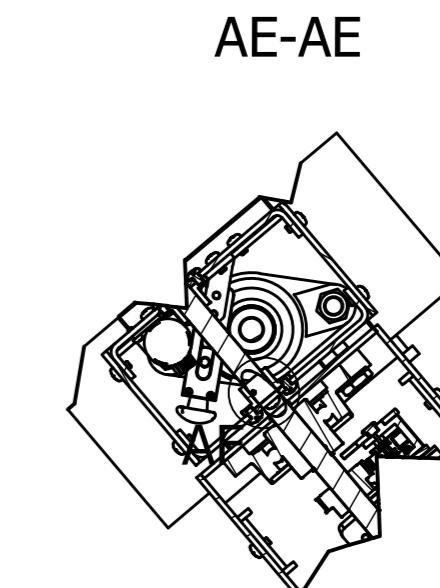
[24] <http://poltech24.pl/ucfl-201-lozysko-samonastawne-w-oprawie-zeliwnej-na-walek-fi-12-mm-p-508.html>

- [25] <https://www.robotdigg.com/product/352/158/160/162/164/166mm-closed-loop-GT2-belt>
- [26] <https://www.adverts.ie/other-electronics/gt2-closed-loop-timing-belt-rubber-2gt-6mm-3d-printers-parts/18333325>
- [27] <https://www.ebay.com/itm/BF-type-2GT-Timing-Belt-Pulley-50-Teeth-Bore-5mm-14mm-CNC-Synchronous-Wheel-/174147136564>
- [28] [https://grabcad.com/library/pulley-gt2-50-teeth-5mm-bore-personal-request-1/details?folder\\_id=1102061](https://grabcad.com/library/pulley-gt2-50-teeth-5mm-bore-personal-request-1/details?folder_id=1102061)
- [29] <https://shopee.com.my/60T-2GT-Timing-Pulley-Bore-5-6-8-10-12mm-Aluminum-GT2-60-Teeth-Wheel-Pulley-Fir-for-6mm-Width-Timing-Belt-i.186556596.4405730627>
- [30] <https://grabcad.com/library/timing-pulley-gt2-20-teeth-5mm-bore-2>
- [31] <https://www.robotdigg.com/product/9/GT2-Pulley-20-Tooth-4mm-or-5mm-Bore>
- [32] [https://www.banggood.com/Machifit-GT2-Timing-Pulley-20-Teeth-Synchronous-Wheel-Inner-Diameter-5mm6\\_35mm8mm-for-6mm-Width-Belt-CNC-Parts-p-1527803.html](https://www.banggood.com/Machifit-GT2-Timing-Pulley-20-Teeth-Synchronous-Wheel-Inner-Diameter-5mm6_35mm8mm-for-6mm-Width-Belt-CNC-Parts-p-1527803.html)
- [33] <https://www.pololu.com/product/2676>
- [34] <https://www.pololu.com/product/4831/resources>
- [35] <https://www.pololu.com/file/0J1541/dual-tb9051ftg-motor-driver-shield-schematic.pdf>
- [36] <https://botland.com.pl/pl/arduino-moduly-glowne/1060-arduino-uno-rev3-a000066-8058333490090.html>
- [37] [https://www.batlit.pl/ogniwa\\_ICR18650MG1](https://www.batlit.pl/ogniwa_ICR18650MG1)
- [38] <https://botland.com.pl/pl/przetwornice-step-down/7614-d24v150f6-przetwornica-step-down-6v-15a-pololu-2882.html>
- [39] <https://www.pololu.com/product/2520/resources>
- [40] <https://botland.com.pl/pl/moduly-gps/14643-modul-l76x-multi-gnss-gpsbdsqzss-waveshare-16332.html>
- [41] [https://botland.com.pl/pl/moduly-bluetooth/2891-modul-bluetooth-hc-05-v2.html?gclid=EA1aIQobChMlui2j5J7A6wlVkmDmCh2Bdg4oEAQYBiABEgJIhvD\\_BwE](https://botland.com.pl/pl/moduly-bluetooth/2891-modul-bluetooth-hc-05-v2.html?gclid=EA1aIQobChMlui2j5J7A6wlVkmDmCh2Bdg4oEAQYBiABEgJIhvD_BwE)
- [42] <https://botland.com.pl/pl/przelaczniki-kolyskowe/3049-przelacznik-on-off-smrs101-250v65a.html>

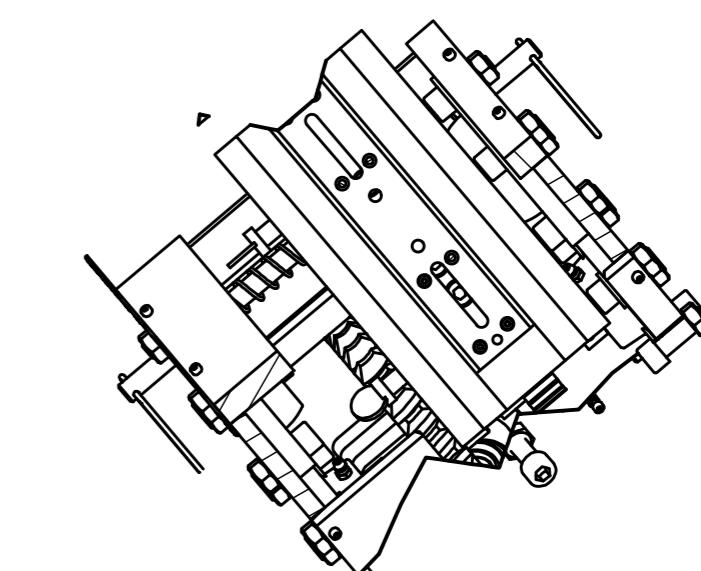


**Montaż:**

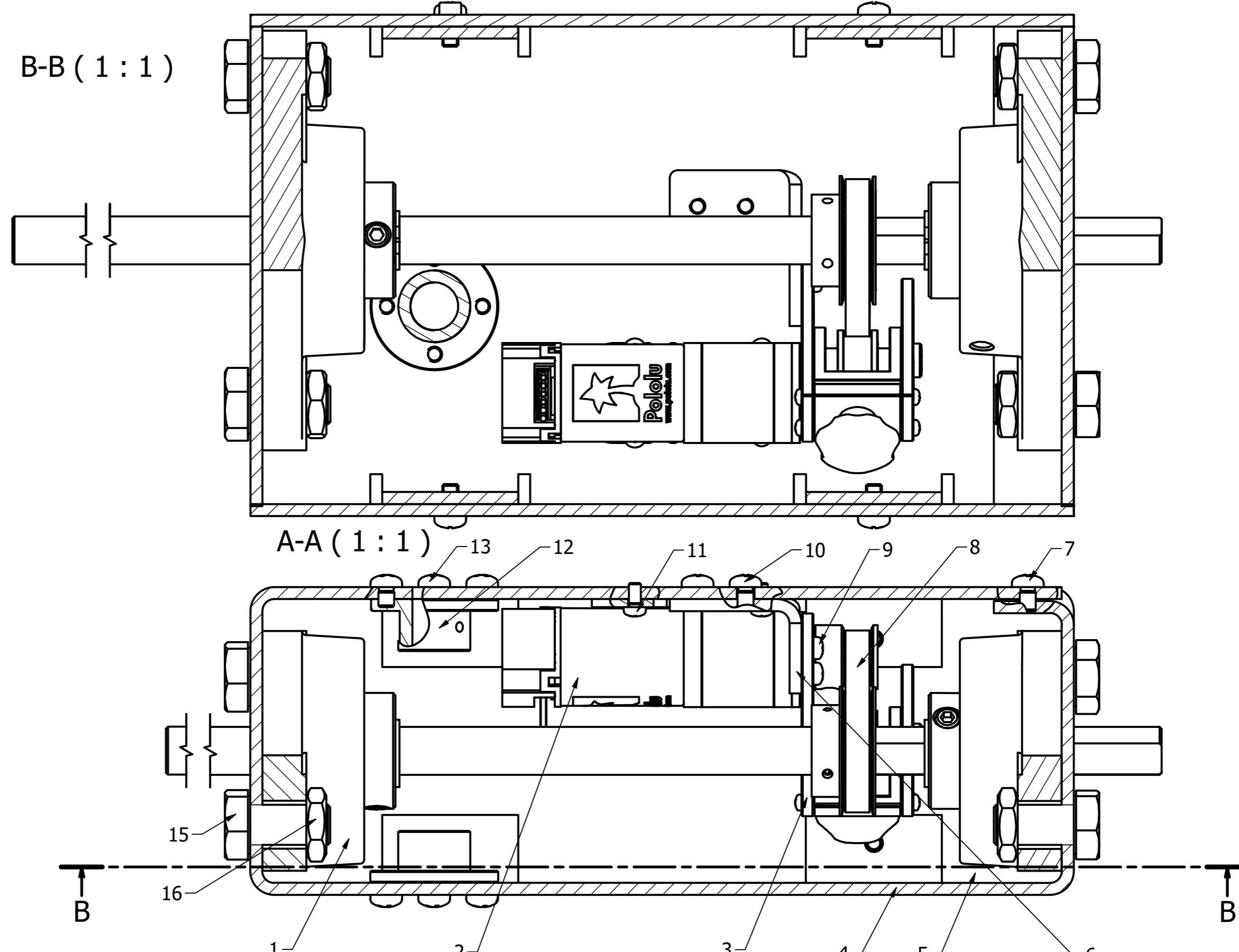
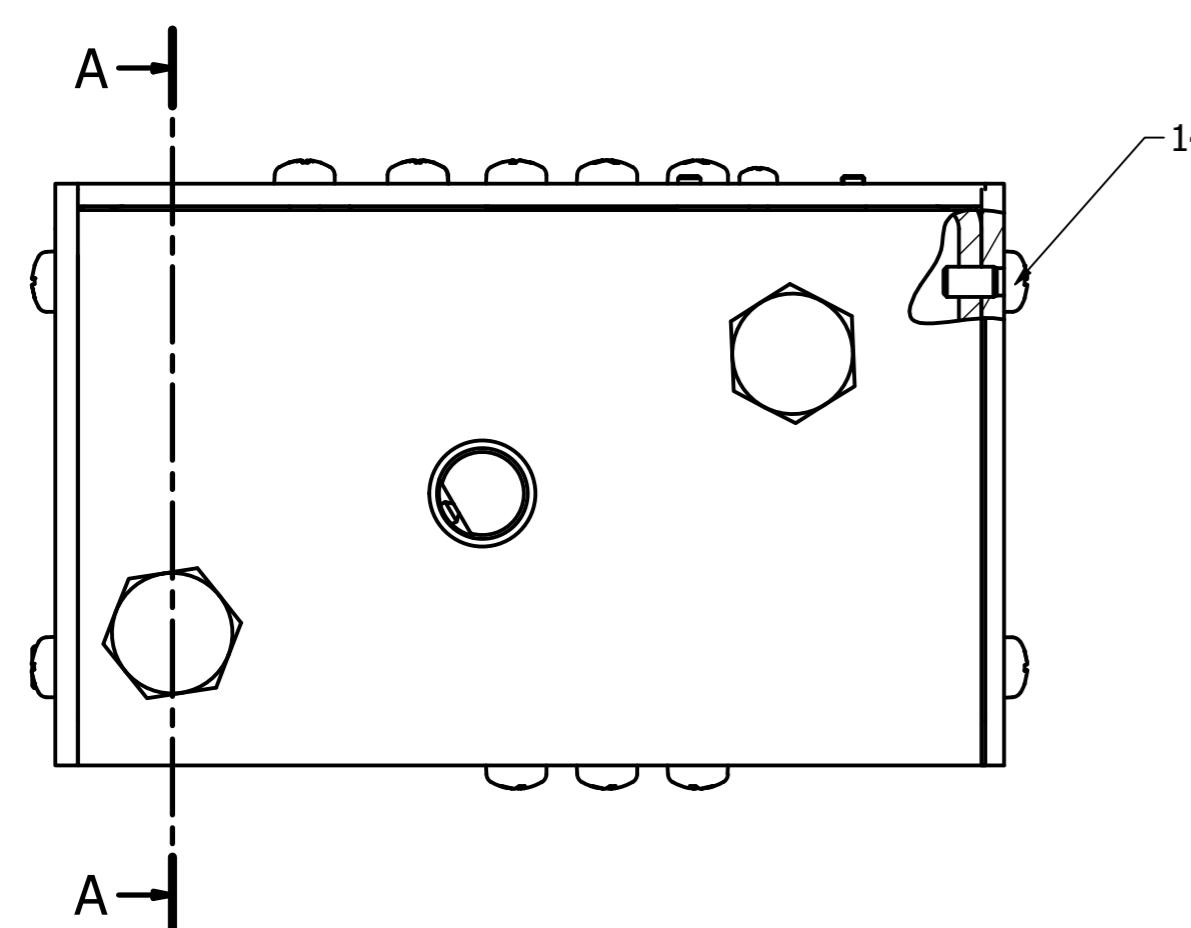
- Za pomocą standardowej śruby montażowej 3/8" przymocować głowicę statywową **4** do spodu modułu elewacji **3**
- Za pomocą wbudowanych docisków przymocować szynę typu jaskółczy ogon modułu rektascensji **1** do zespołu mocowania modułu elewacji
- Za pomocą śrub dociskowych M3 x 3 przymocować wał modułu rektascensji do modułu deklinacji **2**
- Za pomocą śrub dociskowych M3 x 3 przymocować wał modułu deklinacji do zespołu mocowania teleskopu **5**
- Montaż teleskopu odbywa się z wykorzystaniem standardowej szyny mocowanej do zespołu mocowania teleskopu



T-T



Poz	Nazwa części lub zespołu	L.szt	Materiał	Nr rysunku lub normy	Uwagi
7	Śruba dociskowa M3 x 3	4	-	ISO 4026	-
6	Przeciwaga 2,3 kg	4	-	Katalog firmy TS-Optics	-
5	Zespół mocowania teleskopu	1	-	MPT-04	-
4	Główica statywna 494RC2	1	-	Katalog firmy Manfrotto	-
3	Moduł elewacji	1	-	MPT-03	-
2	Moduł deklinacji	1	-	MPT-02	-
1	Moduł rektascensji	1	-	MPT-01	-
Wykonali	Esterka Pawlikowska, Michał Wincel, Bartosz Mirecki, Filip Labaj	09/2020	Miniatyryzacja Urządzeń Mechatroniki	Rok.ak. 2019/2020	
Firma	Politechnika Warszawska			Nr.projektu 1	
Podziałka	Nazwa zespołu Montaż Paralaktyczny Teleskopu	L.szt 0.25:1	Nr rys. MPT		



B-B ( 1 : 1 )

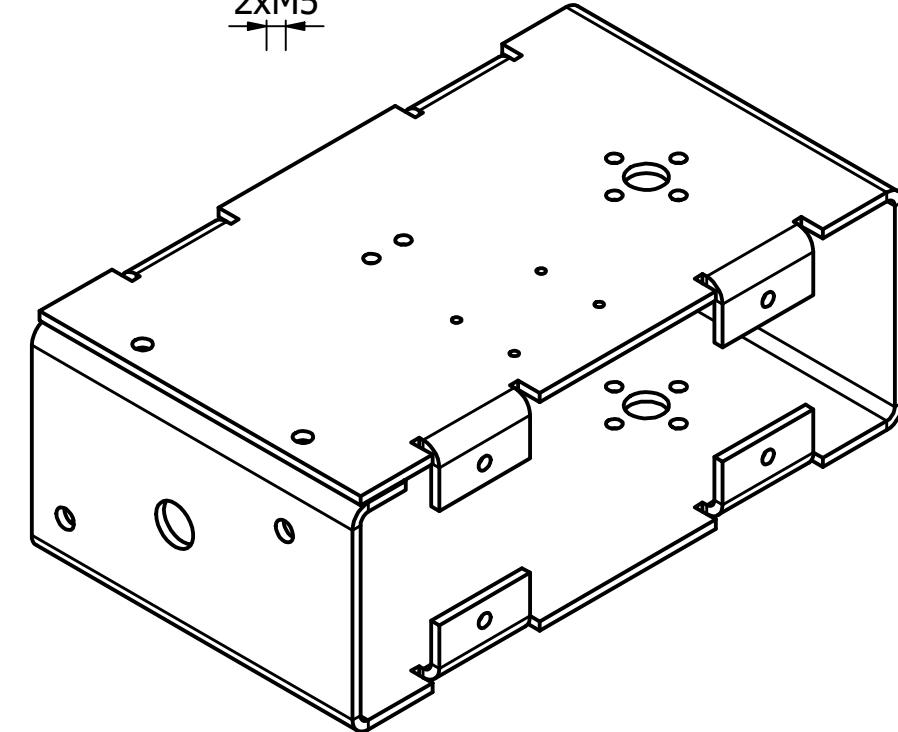
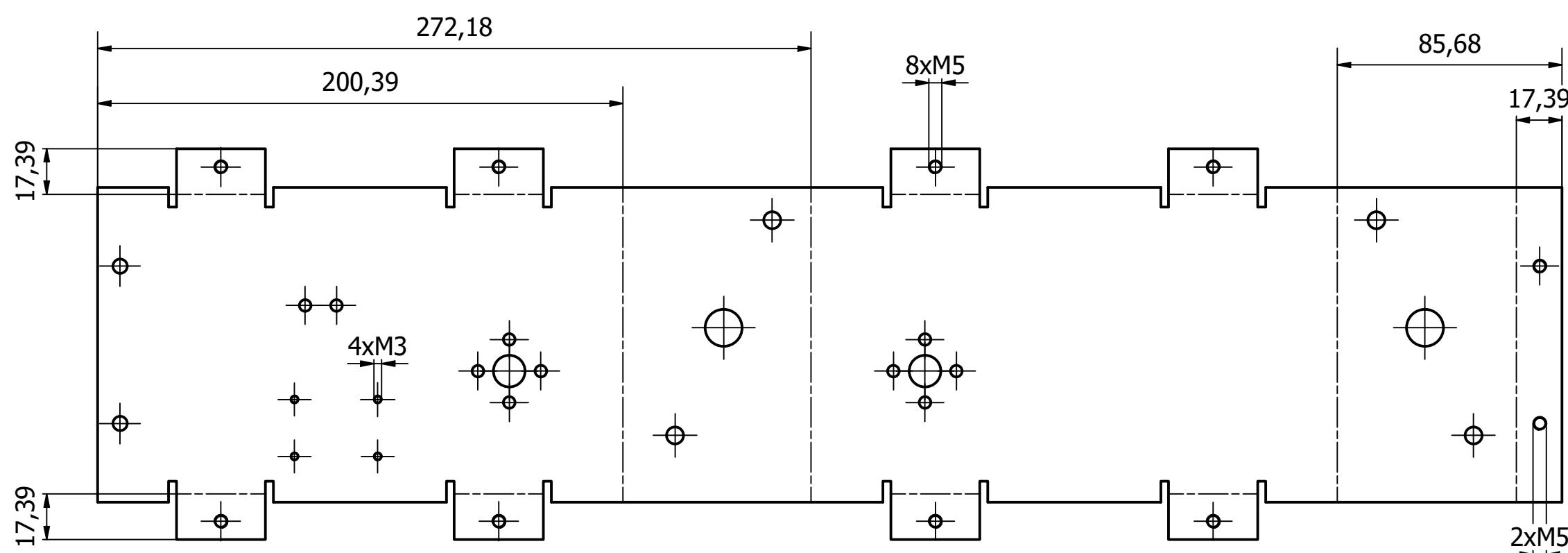
A-A ( 1

- Instrukcja montażu:

  1. W obudowie modułu rektascensji zmontować zespół wałka modułu rektascensji uprzednio umieszczając pasek 2GT na kole zębatym. Następnie przytwierdzić go za pomocą śruby M10 oraz Nakrętki M10 z pozycji odpowiednio 13,14.
  2. Moduł silnika przytwierdzić do obudowy za pomocą 4 wkrętów
  3. Złożyć pasek.
  4. Do obudowy przykręcić uchwyt napinacza z przykręconym na nim napinaczem za pomocą wkrętów z pozycji 10 oraz 9.
  5. Kołnierze zamocować za pomocą wkrętów M4 z pozycji 13.
  6. Całość zabezpieczyć, przykręcając za pomocą wkrętów M4 z pozycji 12 dwie ścianki modułów ruchu

16	Nakrętka M10	4	-	ISO 4035	-
15	Śruba M10x1x20:1	4	-	ISO 8676	-
14	Wkręt M4x8-4.8	8	-	ISO 7045 Z	-
13	Wkręt M4x5-4.8	4	-	ISO 7045 Z	-
12	Kołnież Ø12	2	-		-
11	Wkręt M3x6-4.8	4	-	ISO 7045 Z	-
10	Wkręt M4x6-4.8	2	-	ISO 7045 Z	-
9	Wkręt M3x5-4.8	2	-	ISO 7045 Z	-
8	Pasek 2GT 158x6 mm	1	-	Katalog iOrion 2020	-
7	Wkręt M4x6-4.8	2	-	ISO 7405 Z	-
6	Uchwyty napinacza paska	1	A6	MPT 01.05	-
5	Ścianka modułów ruchu	2	A6	MPT 01.02	-
4	Obudowa modułu deklinacji	1	A6	MPT 01.01	-
3	Napinacz paska (X-axis Belt Stretch)	1	-	Sunhokey	-
2	Zespół silnika	1	-	MPT 01.04	-
1	Zespół wałka modułu deklinacji	1	-	MPT 01.03	-
Poz	Nazwa części lub zespołu	L.szt	Materiał	Nr rysunku lub normy	Uwagi
Wykonał	Ester Pawlikowska, Michał Wincel Bartosz Mirecki, Filip Łabaj	01.09.2020	Miniaturyzacja urządzeń mechatronicznych	Rok.ak. 2019/2020	
Firma	Politechnika Warszawska			Nr.projektu 2	
				GOTO	
Podziałka 1:1	Nazwa zespołu Moduł deklinacji	L.szt 1	Nr rys. MPT.01		

Grubość  
3 mm

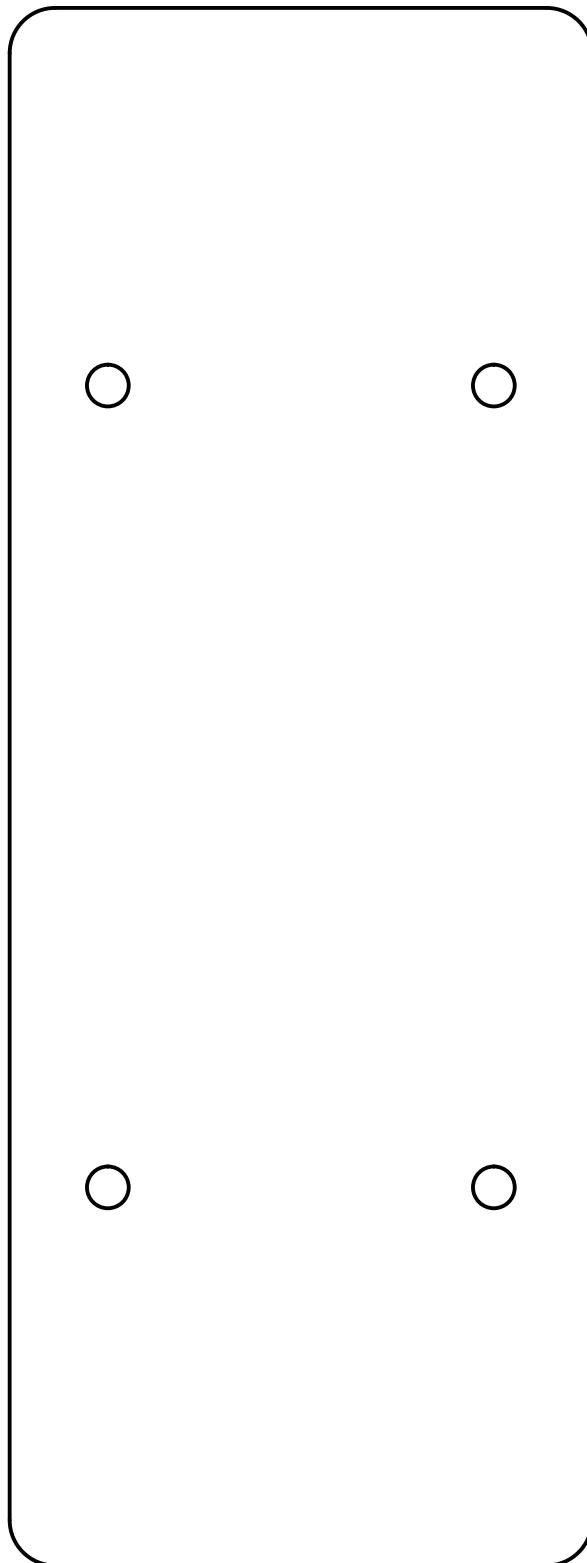


Wykonać według pliku CAD  
Tolerancje ogólne PN-EN 22768-1:1999 - f

Zaprojektowany przez Ester Pawlikowska, Filip Łabaj, Bartosz Mirecki, Michał Wincel	Sprawdzony przez	Zatwierdzony przez	Data	Materiał	Data	Skala
				PA6	01.09.2020	1:2
POLITECHNIKA WARSZAWSKA						Obudowa modułu deklinacji
MPT 01.01			Wydanie	1	Arkusz	

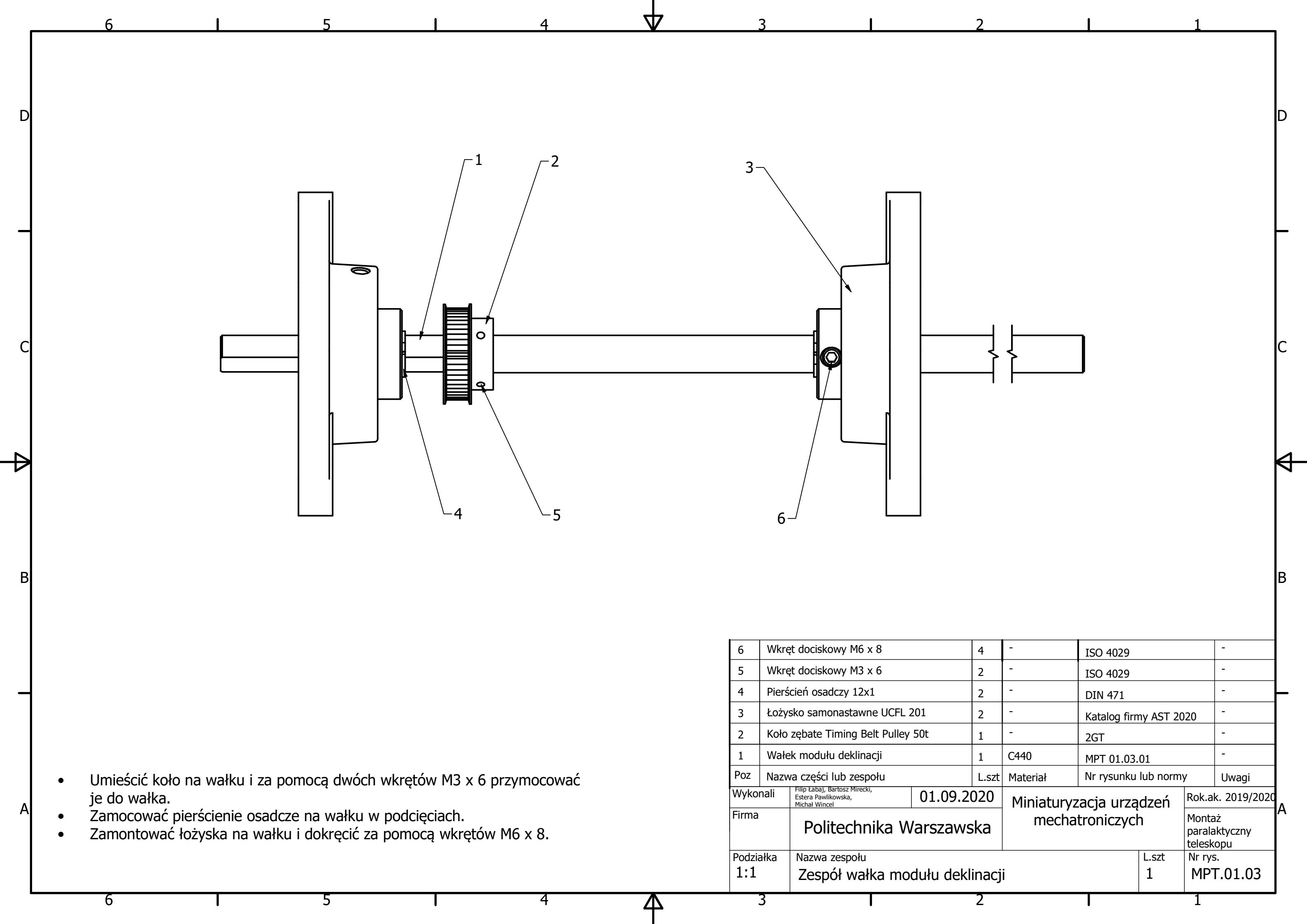
Grubość

3 mm



Wykonać według pliku CAD  
Tolerancje ogólne PN-EN 22768-1:1999 - f

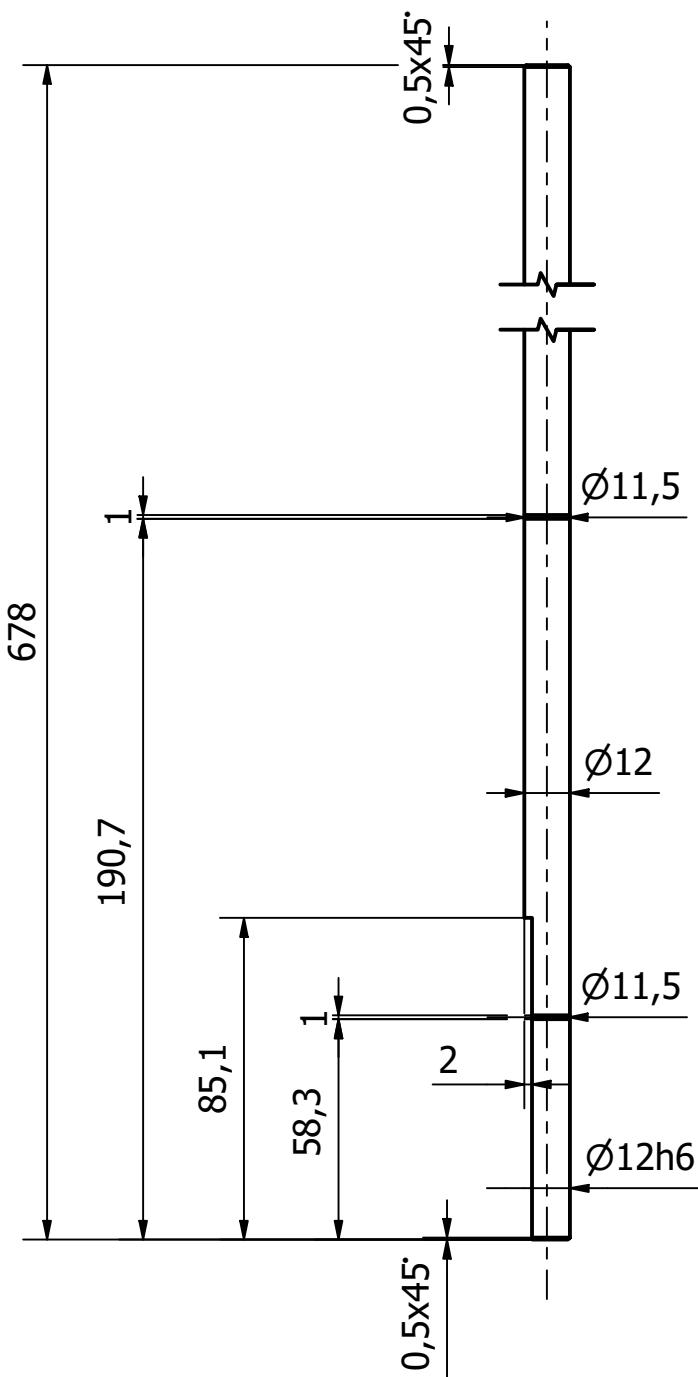
Zaprojektowany przez Ester Pawlikowska, Filip Łabaj, Bartosz Mirecki, Michał Wincel	Sprawdzony przez	Zatwierdzony przez	Data	Materiał PA6	Data 01.09.2020	Skala 1:1
POLITECHNIKA WARSZAWSKA		Ścianka modułów ruchu				
MPT 01.02		Wydanie 1		Arkusz		



- Umieścić koło na wałku i za pomocą dwóch wkrętów M3 x 6 przymocować je do wałka.
- Zamocować pierścienie osadzce na wałku w podcięciach.
- Zamontować łożyska na wałku i dokręcić za pomocą wkrętów M6 x 8.

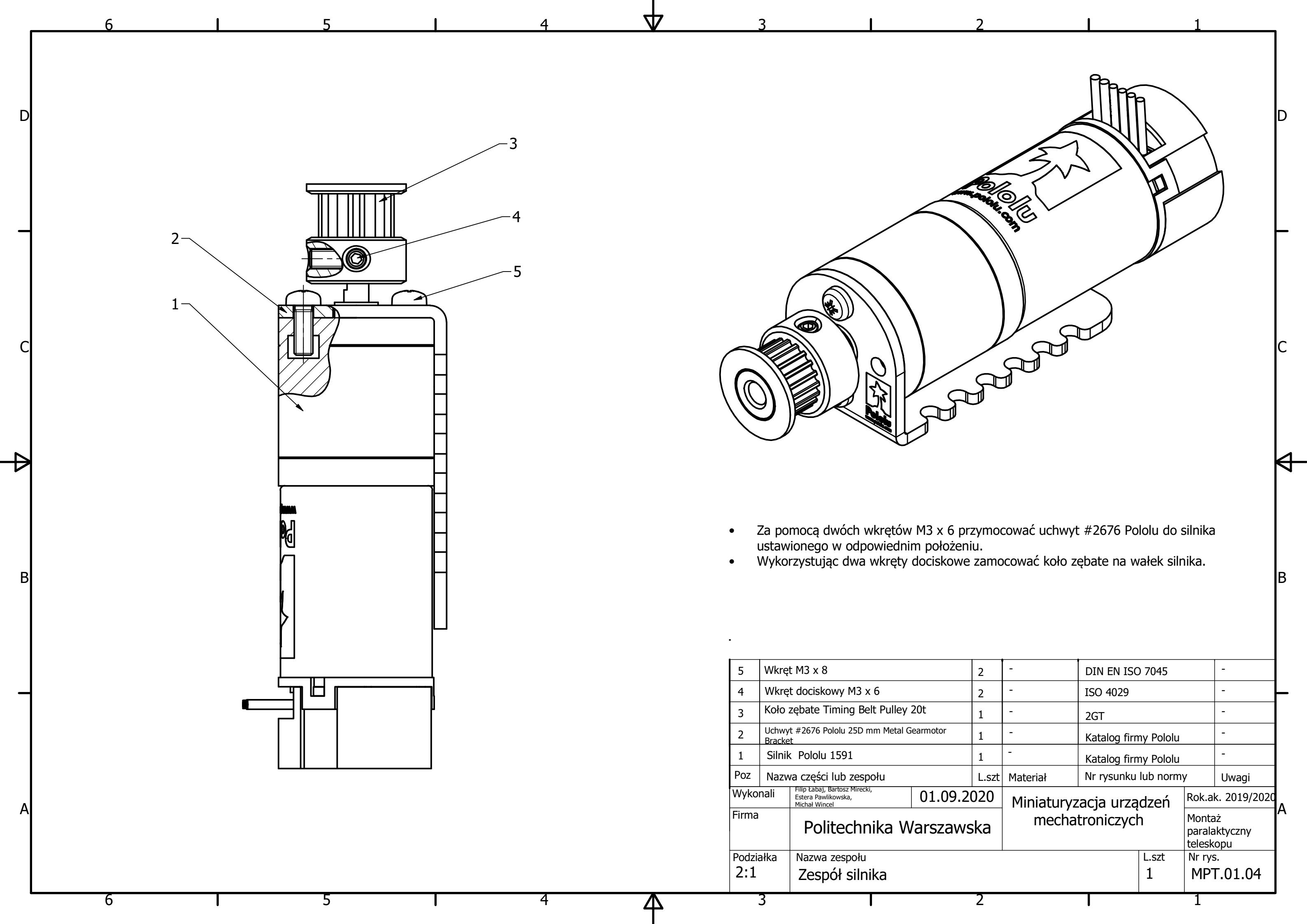
6	Wkręt dociskowy M6 x 8	4	-	ISO 4029	-
5	Wkręt dociskowy M3 x 6	2	-	ISO 4029	-
4	Pierścień osadzcy 12x1	2	-	DIN 471	-
3	Łożysko samonastawne UCFL 201	2	-	Katalog firmy AST 2020	-
2	Koło zębate Timing Belt Pulley 50t	1	-	2GT	-
1	Wałek modułu deklinacji	1	C440	MPT 01.03.01	-
Poz	Nazwa części lub zespołu	L.szt	Materiał	Nr rysunku lub normy	Uwagi
Wykonali	Flip Łabaj, Bartosz Mirecki, Ester Pawlikowska, Michał Wincel	01.09.2020			Rok.ak. 2019/2020
Firma	Politechnika Warszawska			Miniaturyzacja urządzeń mechatronicznych	Montaż paralaktyczny teleskopu
Podziałka	Nazwa zespołu	L.szt			
1:1	Zespół wałka modułu deklinacji	1			Nr rys. MPT.01.03

$\emptyset 12h6$  + 0,000  
- 0,011



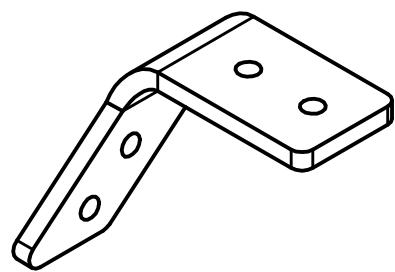
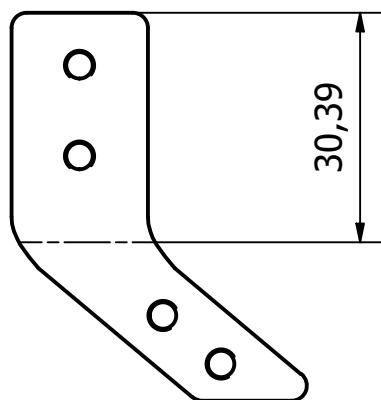
Tolerancje ogólne PN-EN 22768-1:1999 - f

Zaprojektowany przez Filip Łabaj, Bartosz Mirecki, Ester Pawlikowska, Michał Wince	Sprawdzony przez	Zatwierdzony przez	Data	C440	Data 01.09.2020	
POLITECHNIKA WARSZAWSKA		Wałek modułu deklinacji				
MPT 01.03.01		Skala 1:1		Arkusz 1/1		



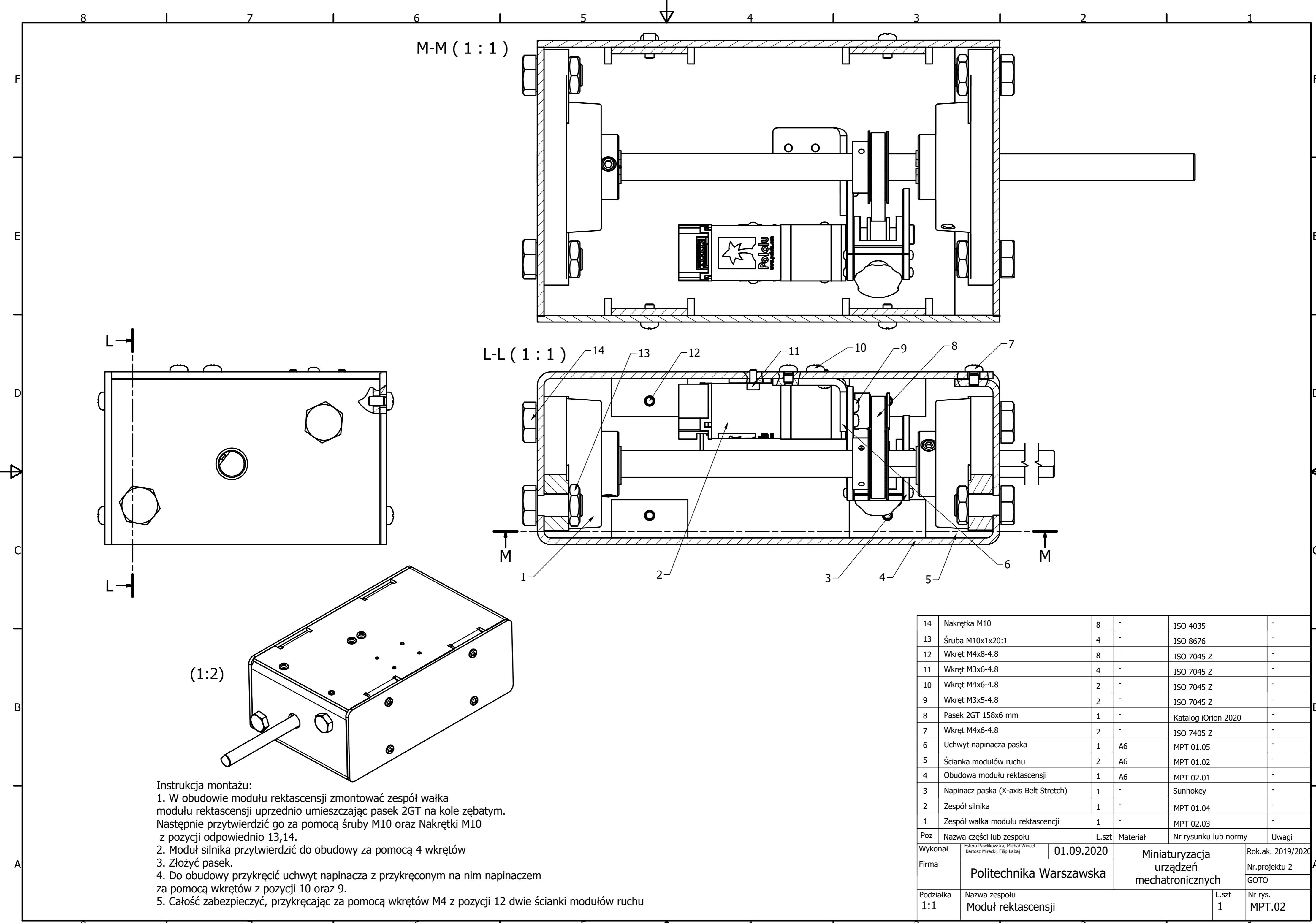
Grubość

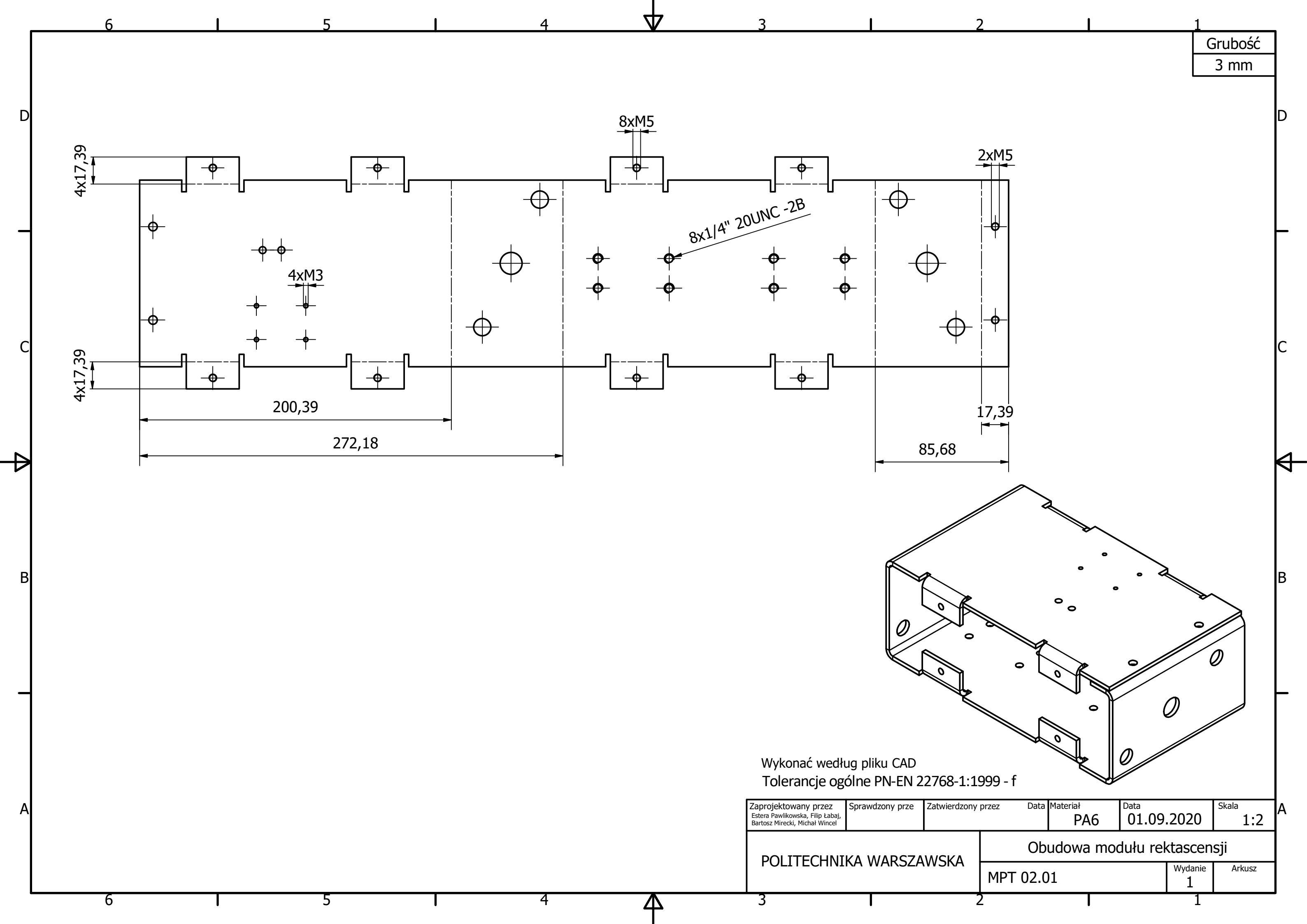
3 mm

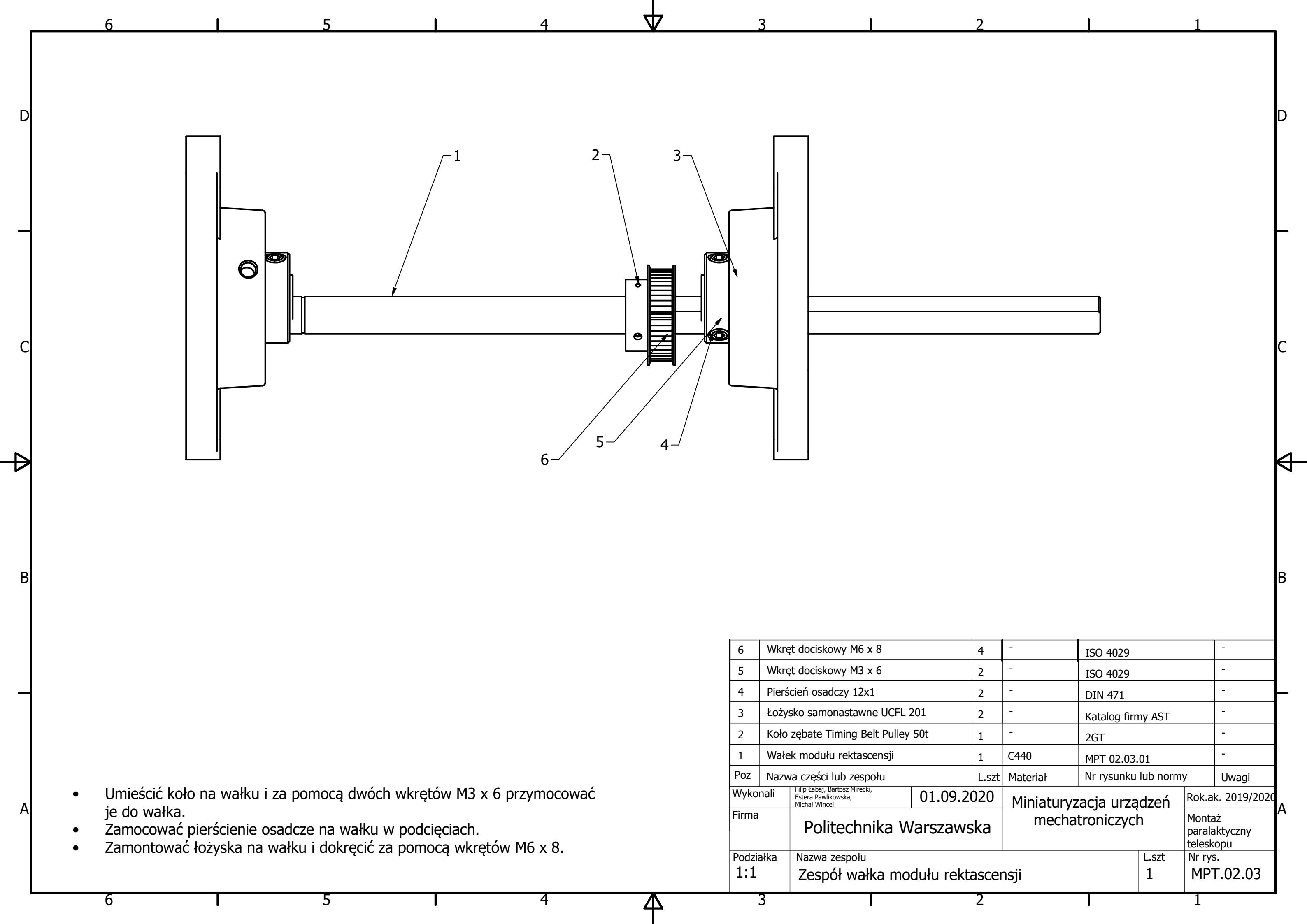


Wykonać według pliku CAD  
Tolerancje ogólne PN-EN 22768-1:1999 - f

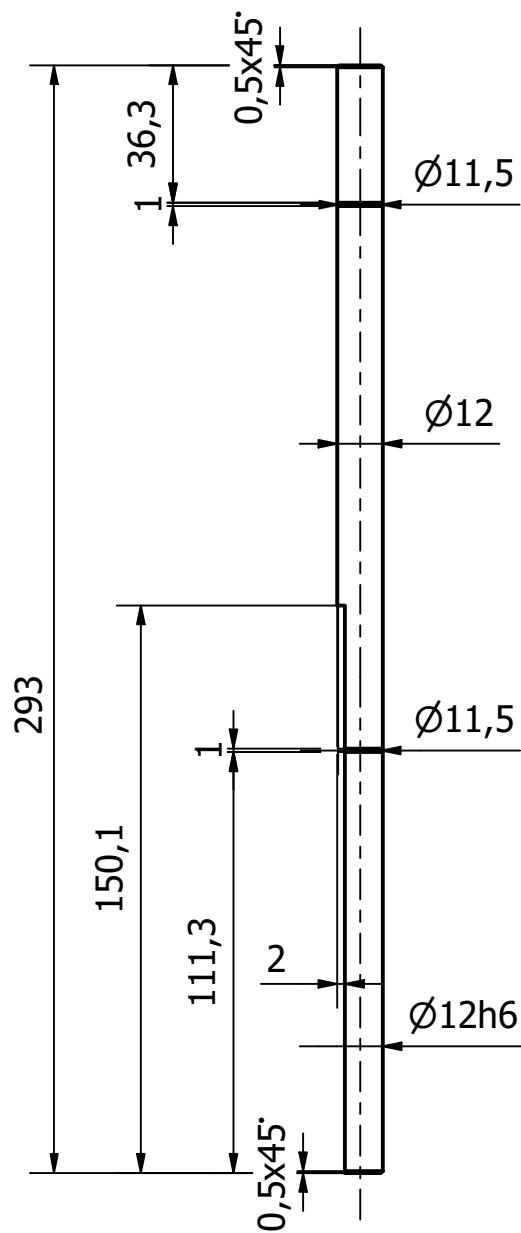
Zaprojektowany przez Ester Pawlikowska, Filip Łabaj, Bartosz Mirecki, Michał Wincel	Sprawdzony przez	Zatwierdzony przez	Data	Materiał PA6	Data 01.09.2020	Skala 1:1
POLITECHNIKA WARSZAWSKA		Uchwyt napinacza paska				
MPT 01.05			Wydanie 1		Arkusz	





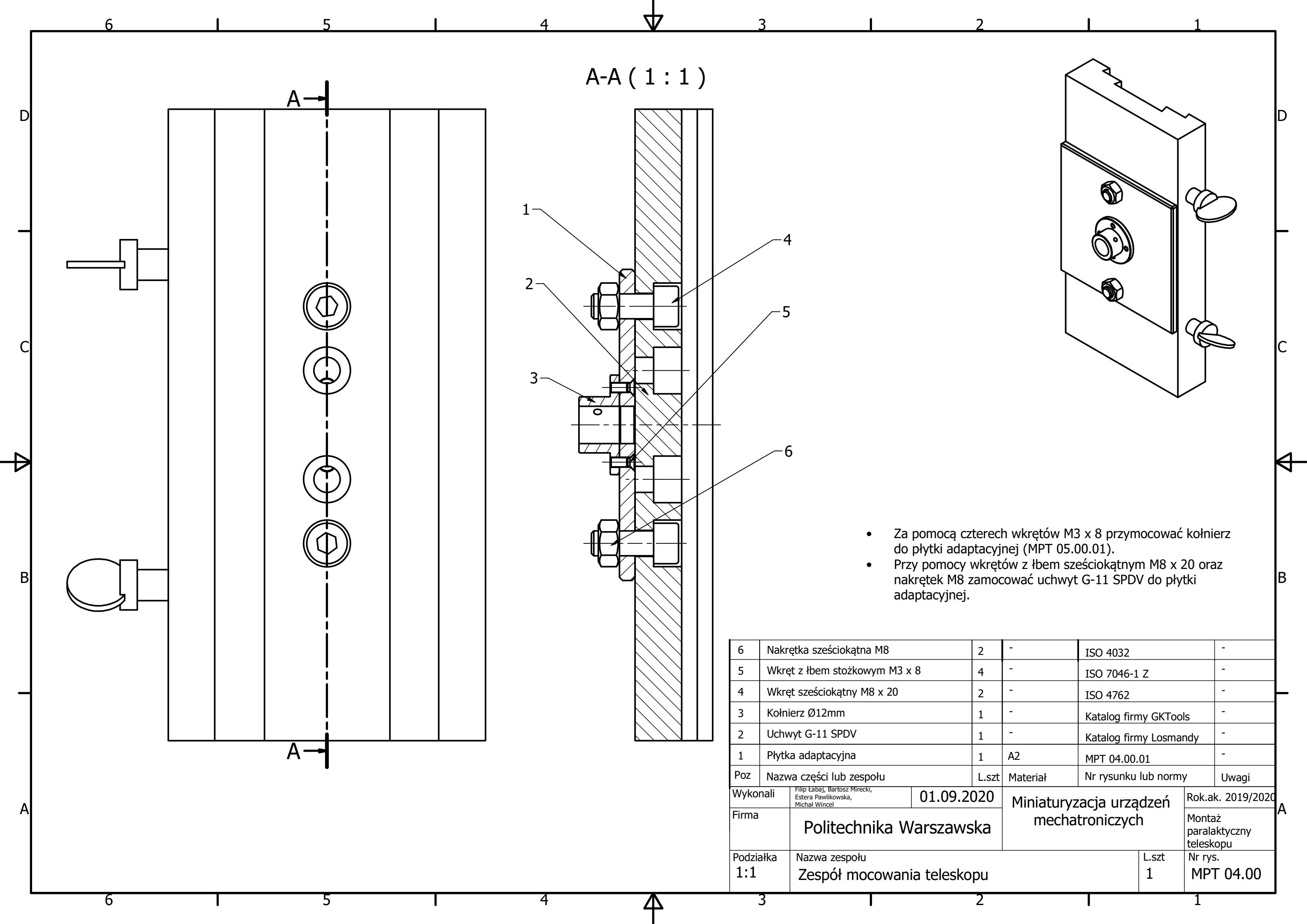


$\emptyset 12h6$  + 0,000  
- 0,011

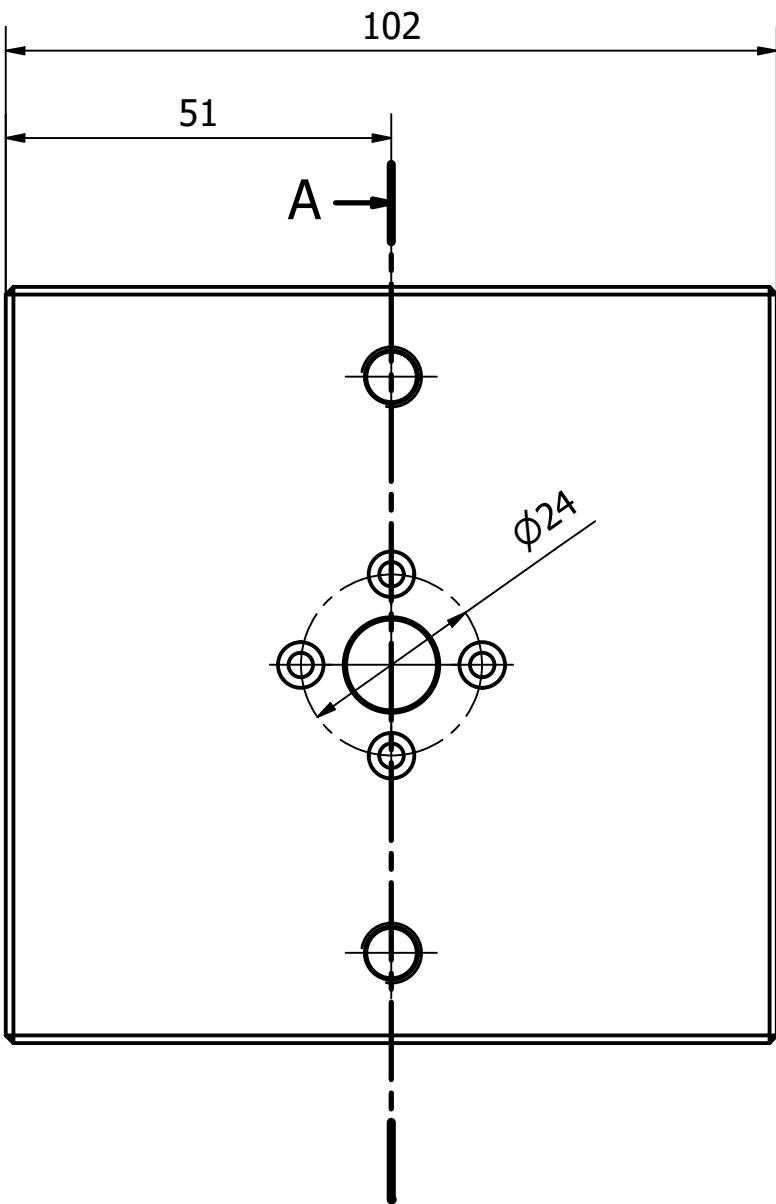


Tolerancje ogólne PN-EN 22768-1:1999 - f

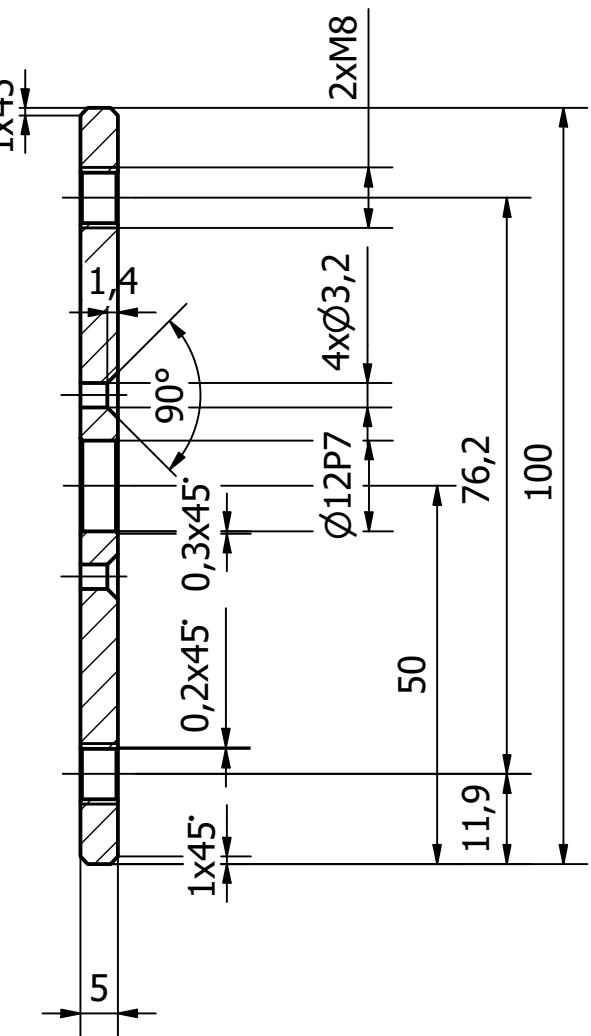
Zaprojektowany przez Filip Łabaj, Bartosz Mirecki, Ester Pawlikowska, Michał Wince	Sprawdzony przez	Zatwierdzony przez	Data	C440	Data 01.09.2020	
POLITECHNIKA WARSZAWSKA		Wałek modułu rektascensji				
MPT 02.03.01		Skala 1:1		Arkusz 1/1		



$\emptyset 12P7$  -0,011  
-0,029

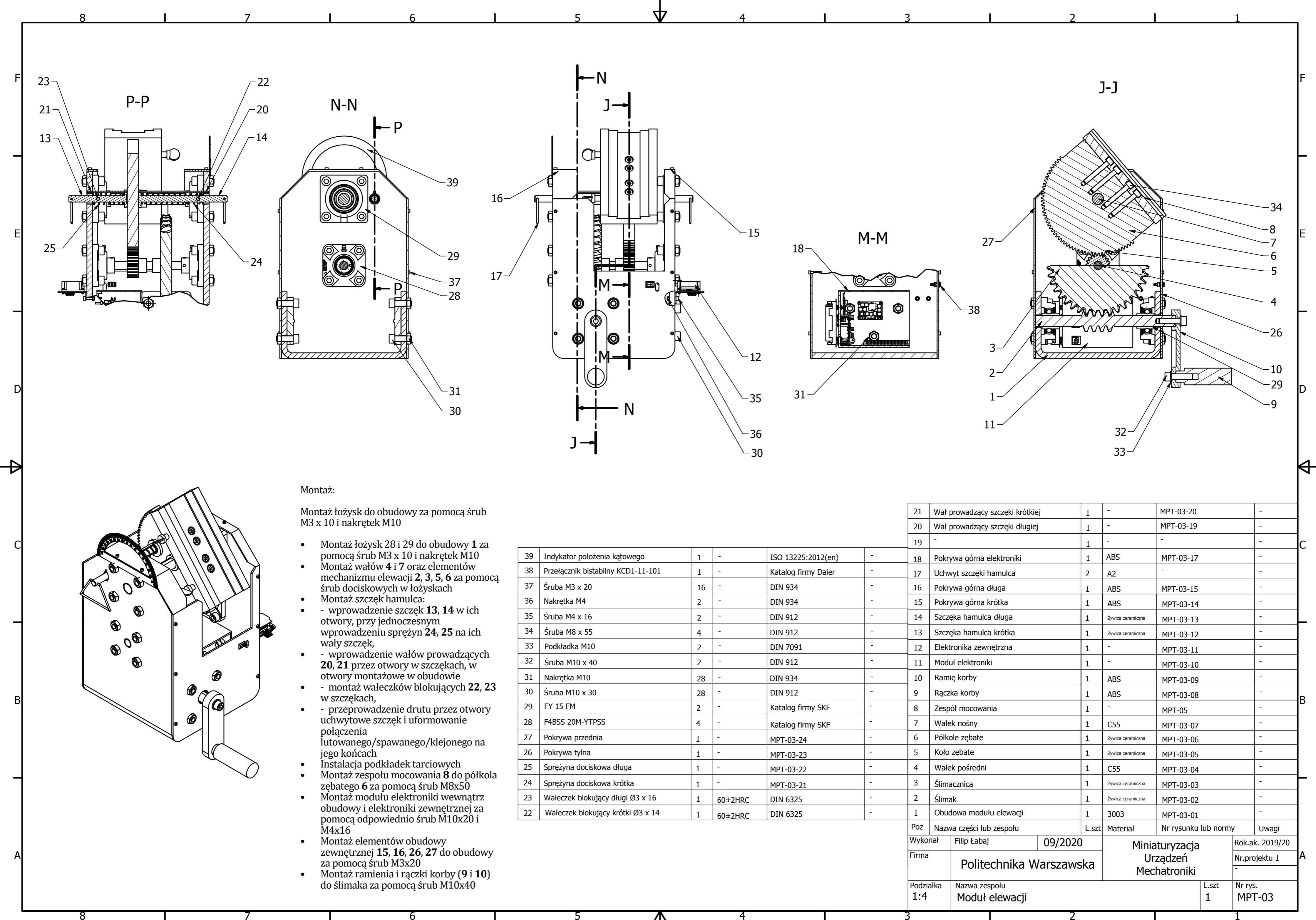


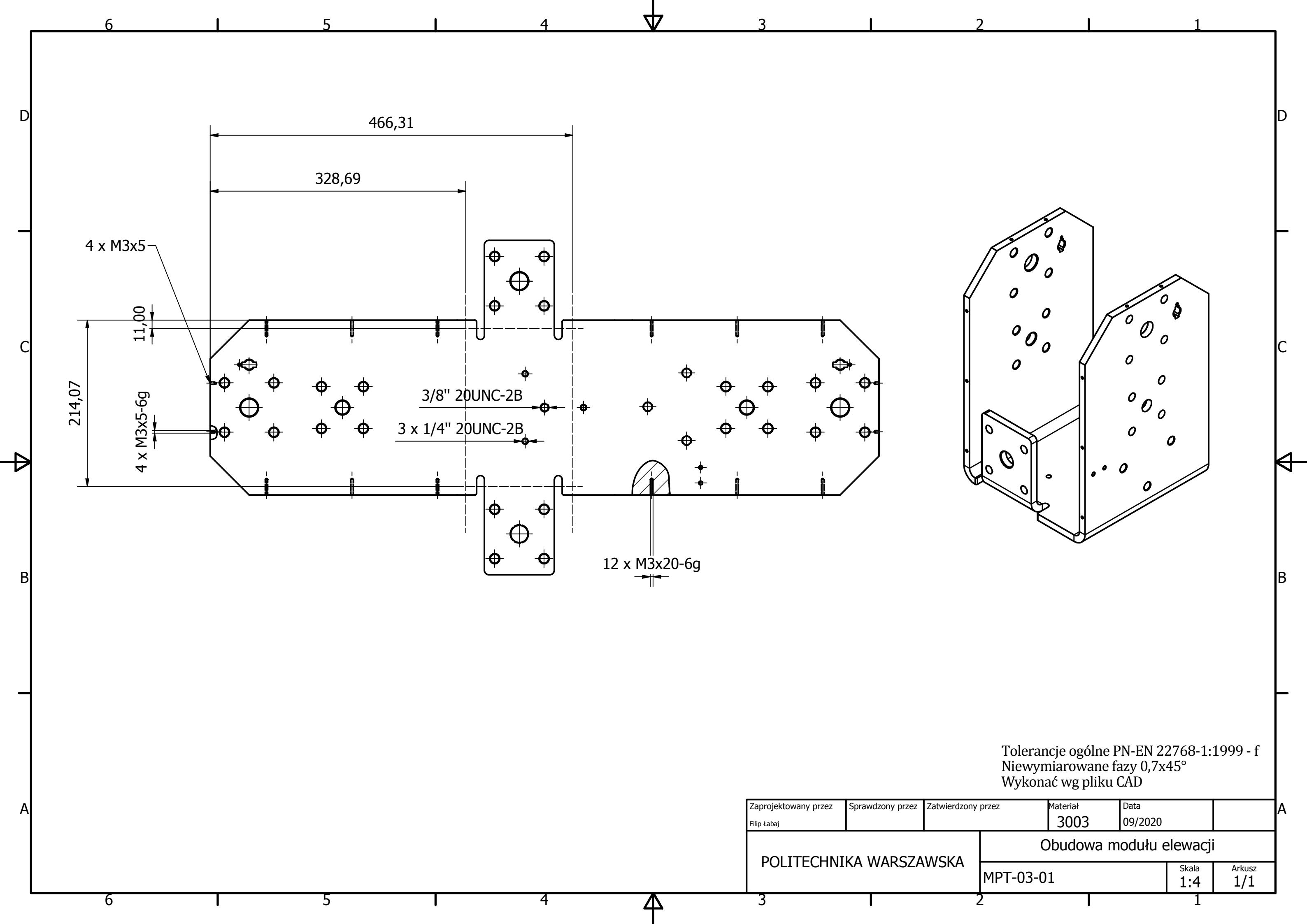
A-A ( 1 : 1 )



Tolerancje ogólne PN-EN 22768-1:1999 - f

Zaprojektowany przez Filip Łabaj, Bartosz Mirecki, Ester Pawlikowska, Michał Wince	Sprawdzony przez	Zatwierdzony przez	Data A2	Data 01.09.2020	
POLITECHNIKA WARSZAWSKA			Płytki adaptacyjne		
MPT 05.00.01		Skala 1:1		Arkusz 1/1	





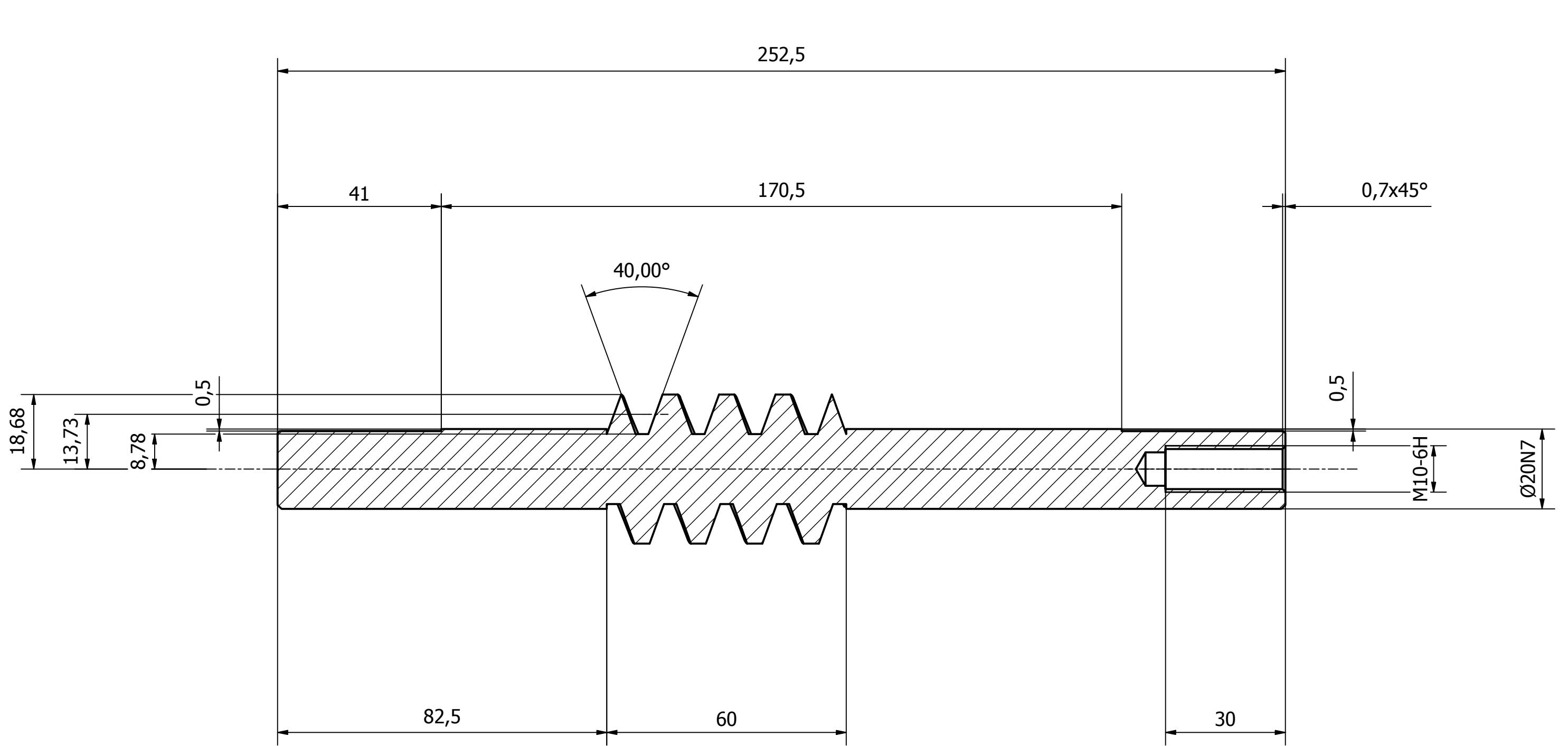
Tolerancje ogólne PN-EN 22768-1:1999 - f  
Niewymiarowane fazy 0,7x45°  
Wykonać wg pliku CAD

Zaprojektowany przez Filip Łabaj	Sprawdzony przez	Zatwierdzony przez	Materiał 3003	Data 09/2020	
Obudowa modułu elewacji					
POLITECHNIKA WARSZAWSKA	MPT-03-01	Skala 1:4	Arkusz 1/1		

6 5 4 3 2 1

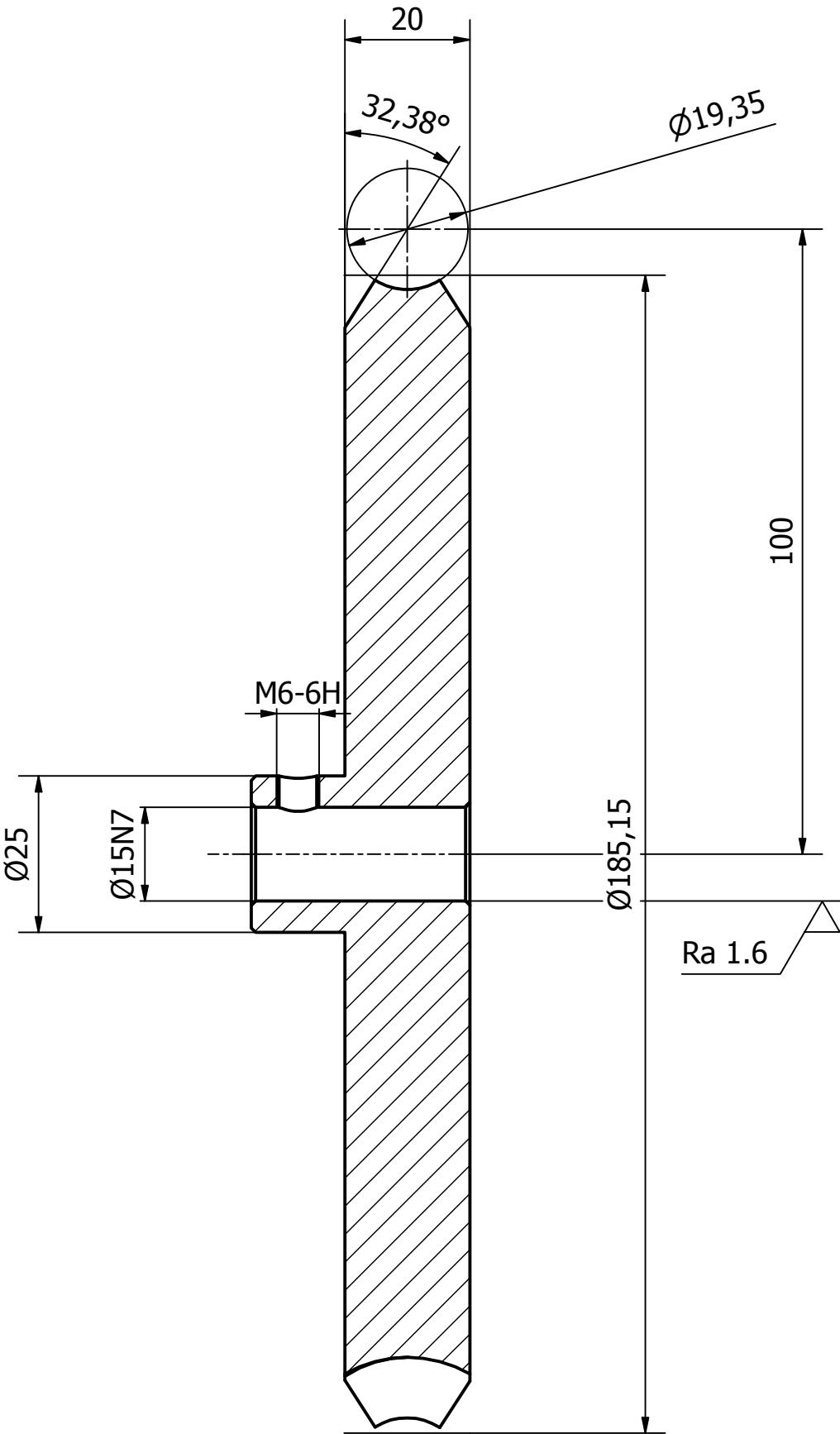
Ra 6.3 (✓)

252,5



Tolerancje ogólne PN-EN 22768-1:1999 - f  
Niezwykłymiarowane fazy 1x45°

Zaprojektowany przez Filip Łabaj	Sprawdzony przez	Zatwierdzony przez	Materiał Żywica ceramiczna	Data 09/2020	
POLITECHNIKA WARSZAWSKA		Ślimak			
MPT-03-02		Skala 2:1		Arkusz 1/1	



Ra 6.3 (✓)

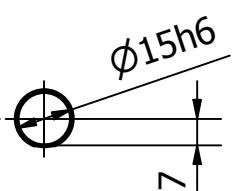
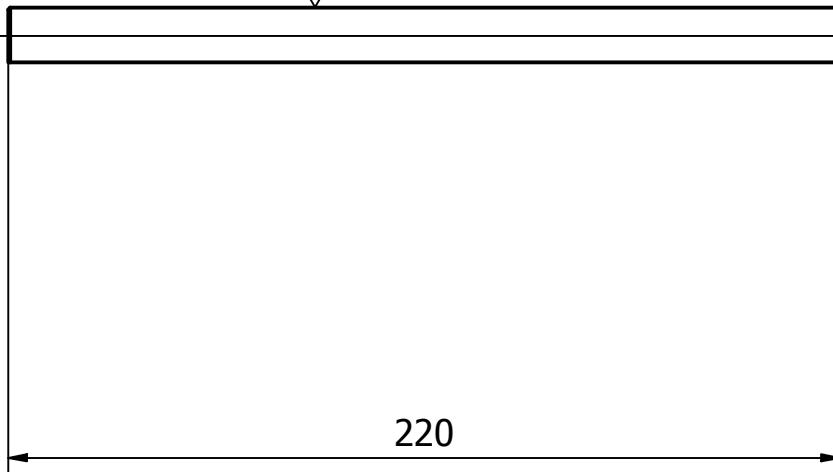
Ra 1.6

Tolerancje ogólne PN-EN 22768-1:1999 - f  
Niezwykłymiarowane fazy 0,7x45°

Zaprojektowany przez Filip Łabaj	Sprawdzony przez	Zatwierdzony przez	Materiał Żywica ceramiczna	Data 01.06.2019	
POLITECHNIKA WARSZAWSKA					Wał prowadzący krótki hamulca
BEM.01.00.05	Skala 2:1	Arkusz 1/1			

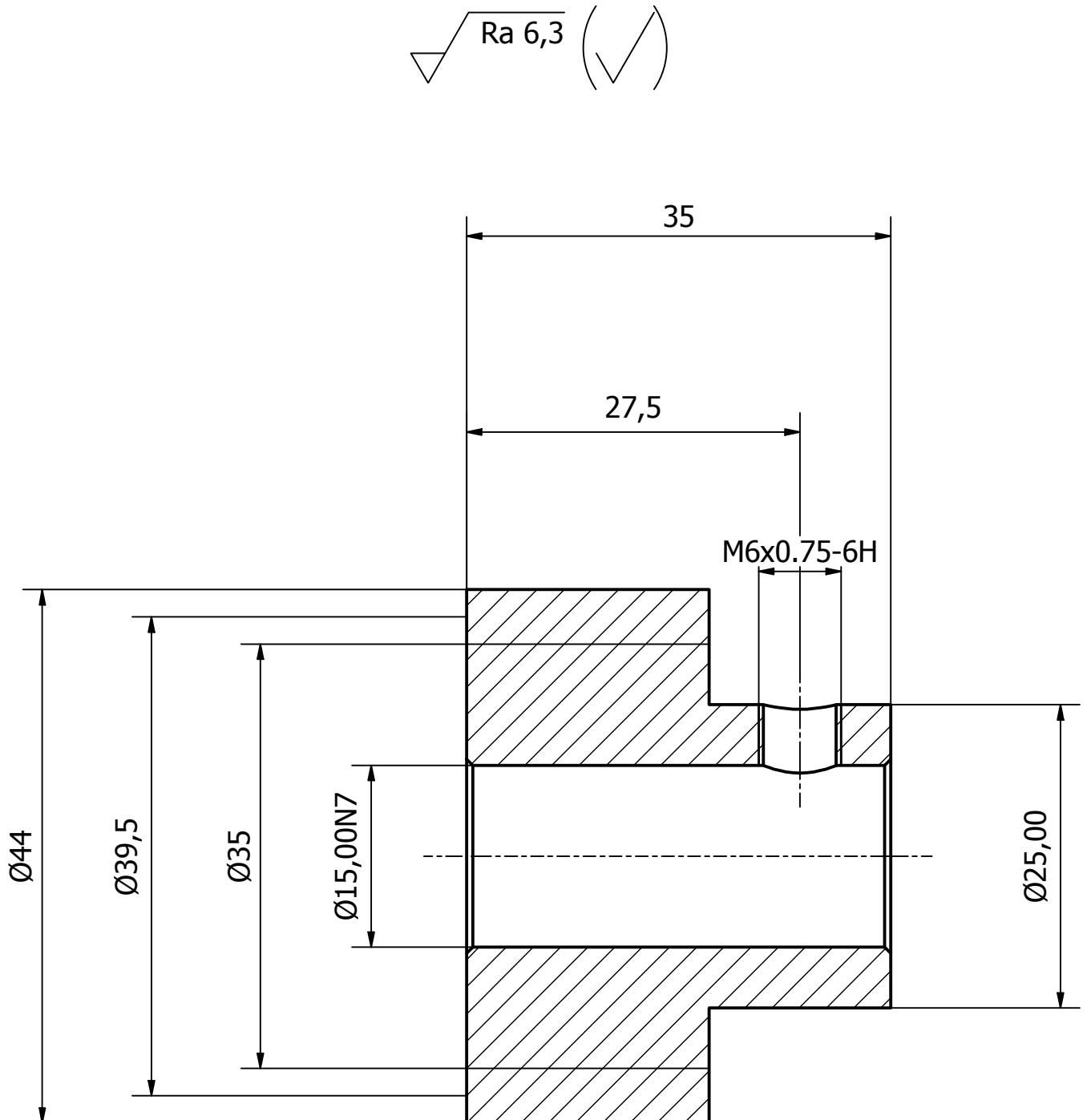
$\checkmark$  Ra 6.3  $(\checkmark)$

Ra 1.6



Tolerancje ogólne PN-EN 22768-1:1999  
Ostre krawędzie stępić  
Niezwykładowane fazy  $0,5 \times 45^\circ$

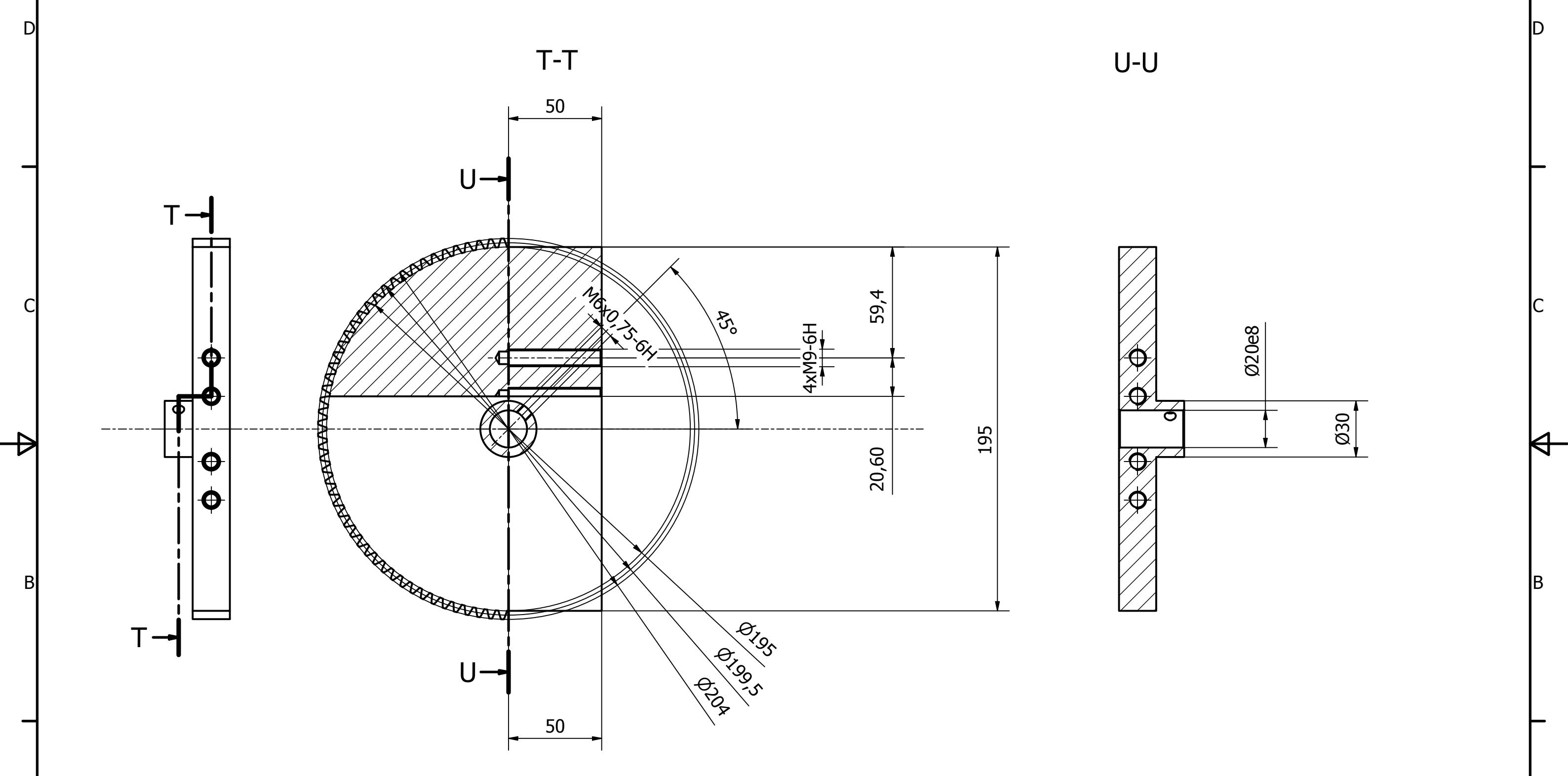
Zaprojektowany przez Filip Łabaj	Sprawdzony przez	Zatwierdzony przez	Materiał C55	Data 09/2020	
POLITECHNIKA WARSZAWSKA			Wałek pośredni		
MPT-03-11-01		Skala 1:2		Arkusz 1/1	



Tolerancje ogólne PN-EN 22768-1:1999 - f  
Niezwymiarowane fazy  $0,5 \times 45^\circ$

Zaprojektowany przez Filip Łabaj	Sprawdzony przez	Zatwierdzony przez	Materiał Żywica ceramiczna	Data 09/2020	
POLITECHNIKA WARSZAWSKA			Wał prowadzący krótki hamulca		
MPT-03-05		Skala 2:1		Arkusz 1/1	

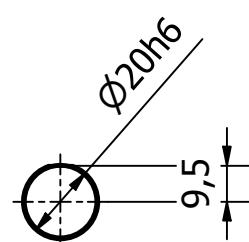
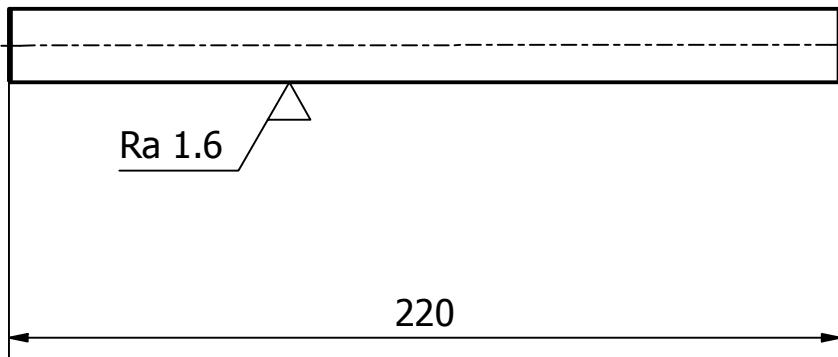
6 5 4 3 2 1



Tolerancje ogólne PN-EN 22768-1:1999 - f  
Wszystkie fazy 0,7x45°

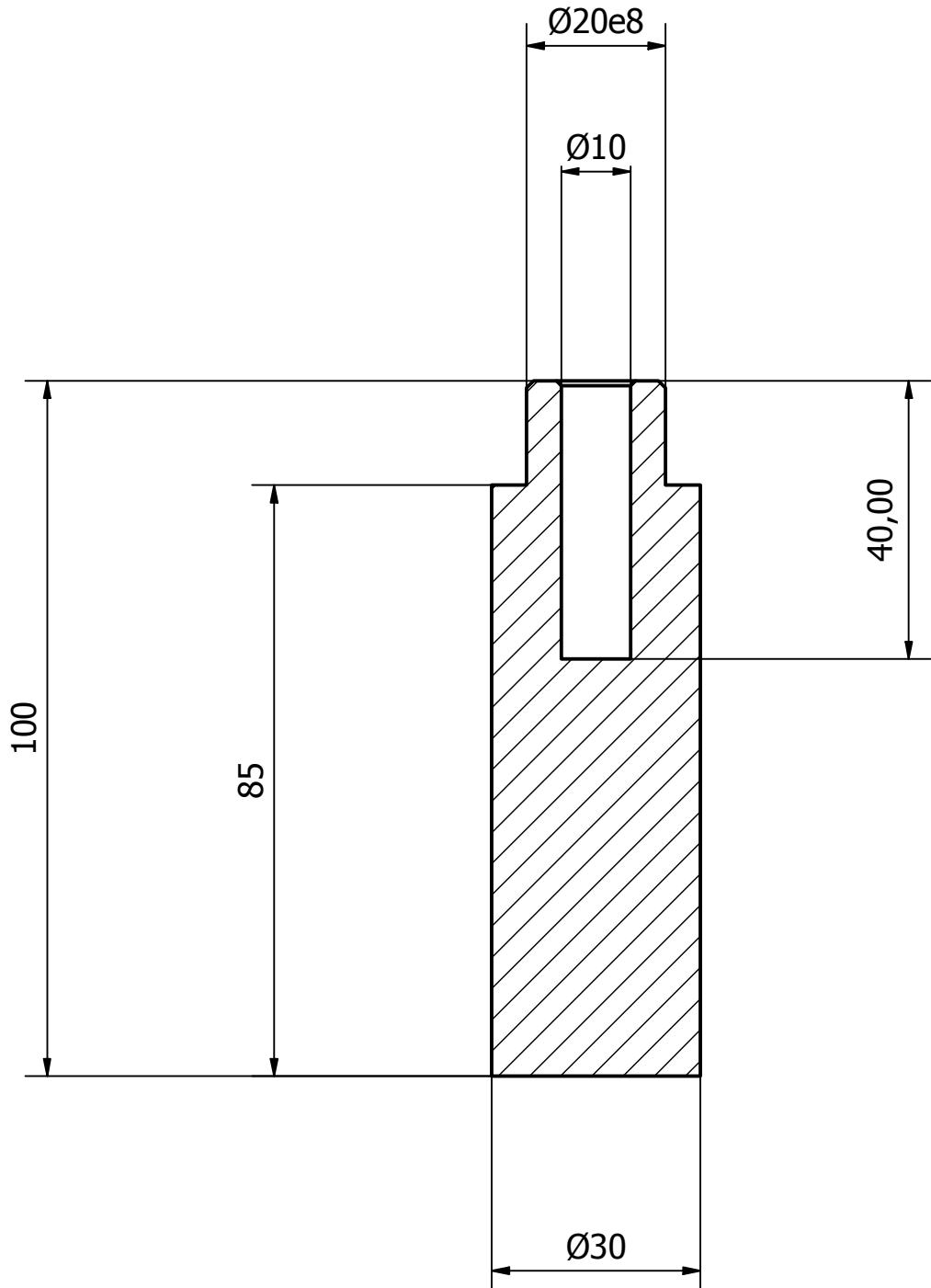
Zaprojektowany przez Filip Łabaj	Sprawdzony przez	Zatwierdzony przez	Materiał Żywica ceramiczna	Data 09/2020	
POLITECHNIKA WARSZAWSKA					Półkole zębate
			MPT-03-06	Skala 1:2	Arkusz 1/1

▽ Ra 6.3 (✓)



Tolerancje ogólne PN-EN 22768-1:1999  
Ostre krawędzie stępić  
Niezwykładowane fazy 0,5 x 45°

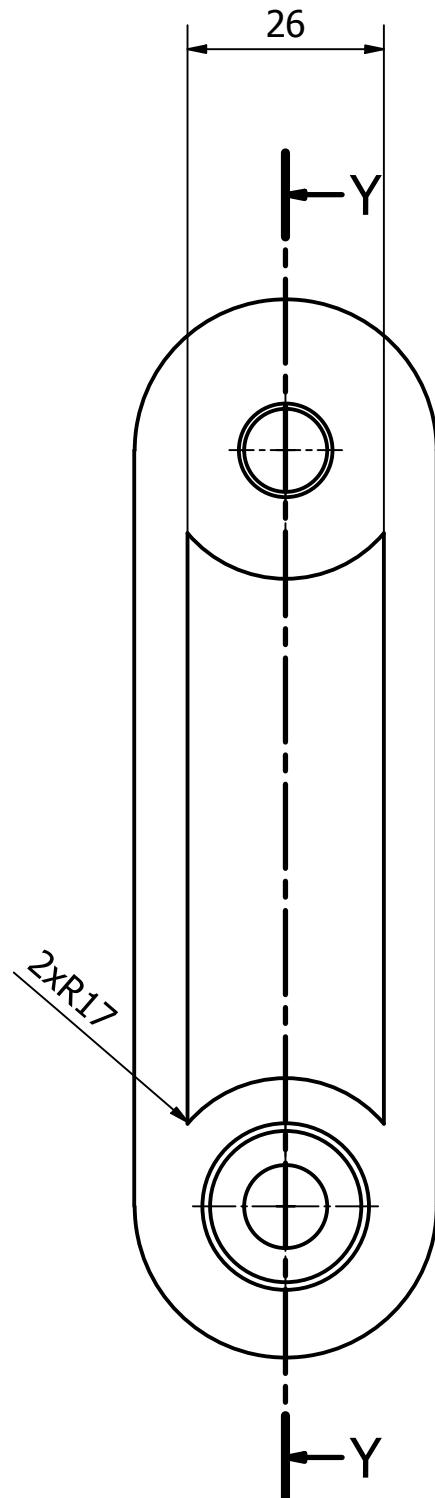
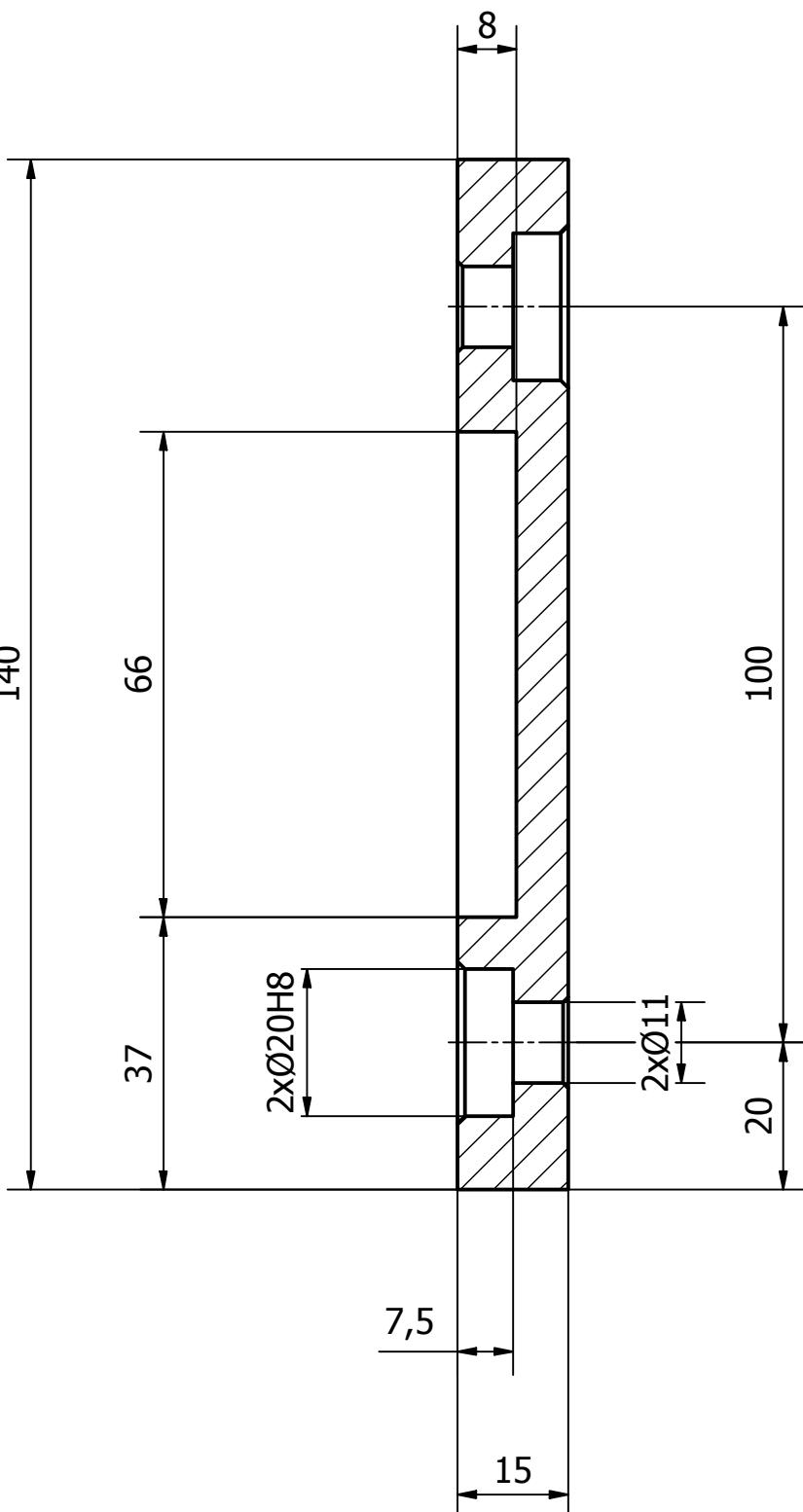
Zaprojektowany przez Filip Łabaj	Sprawdzony przez	Zatwierdzony przez	Materiał C55	Data 09/2020	
POLITECHNIKA WARSZAWSKA			Wałek nośny		
MPT-03-07		Skala 1:2		Arkusz 1/1	



Tolerancje ogólne PN-EN 22768-1:1999 - f  
Niezwykłymiarowane fazy 0,7x45°

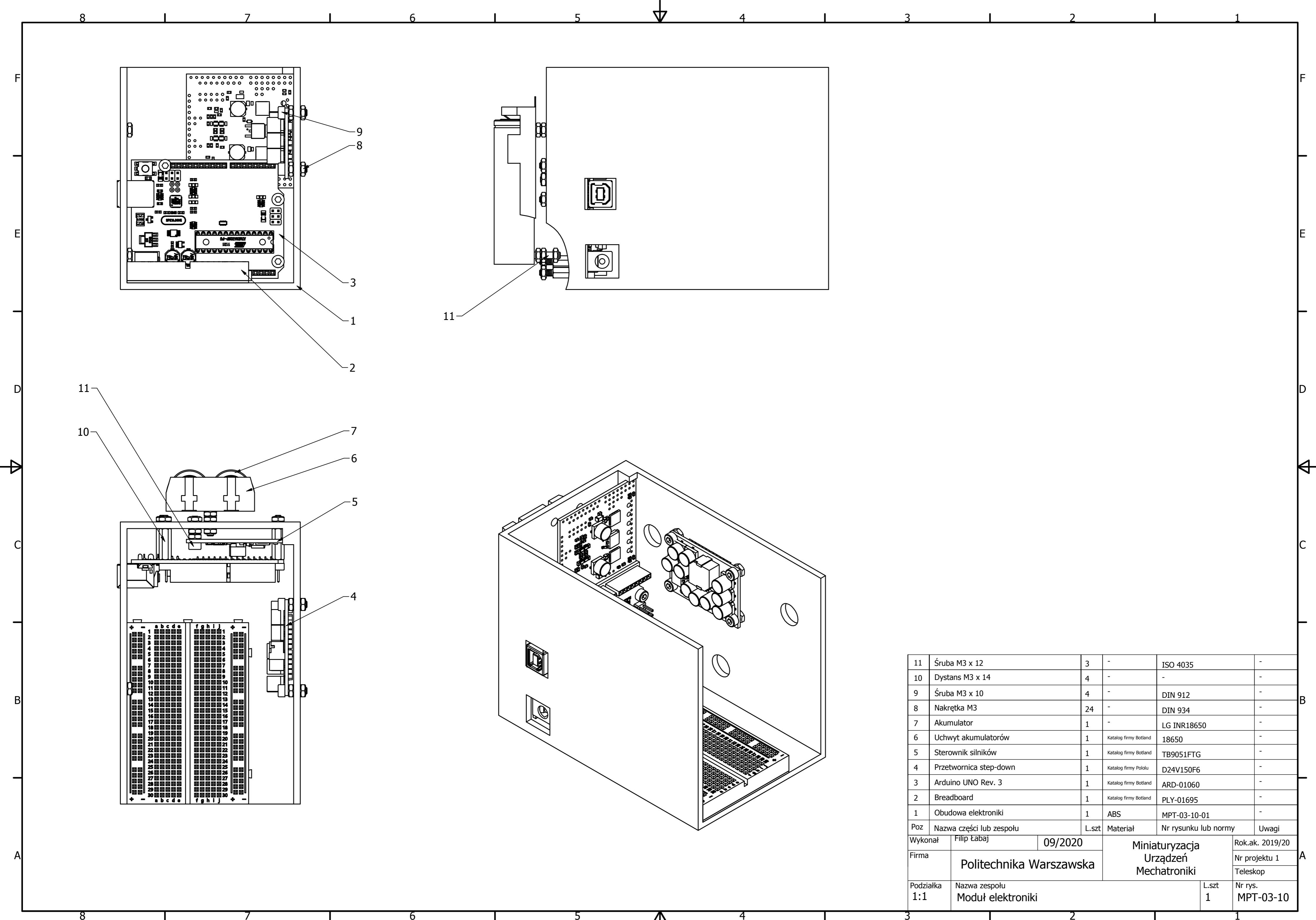
Zaprojektowany przez Filip Łabaj	Sprawdzony przez	Zatwierdzony przez	Materiał ABS	Data 09/2020	
POLITECHNIKA WARSZAWSKA			Rączka korby		
MPT-03-08		Skala 1:1		Arkusz 1/1	

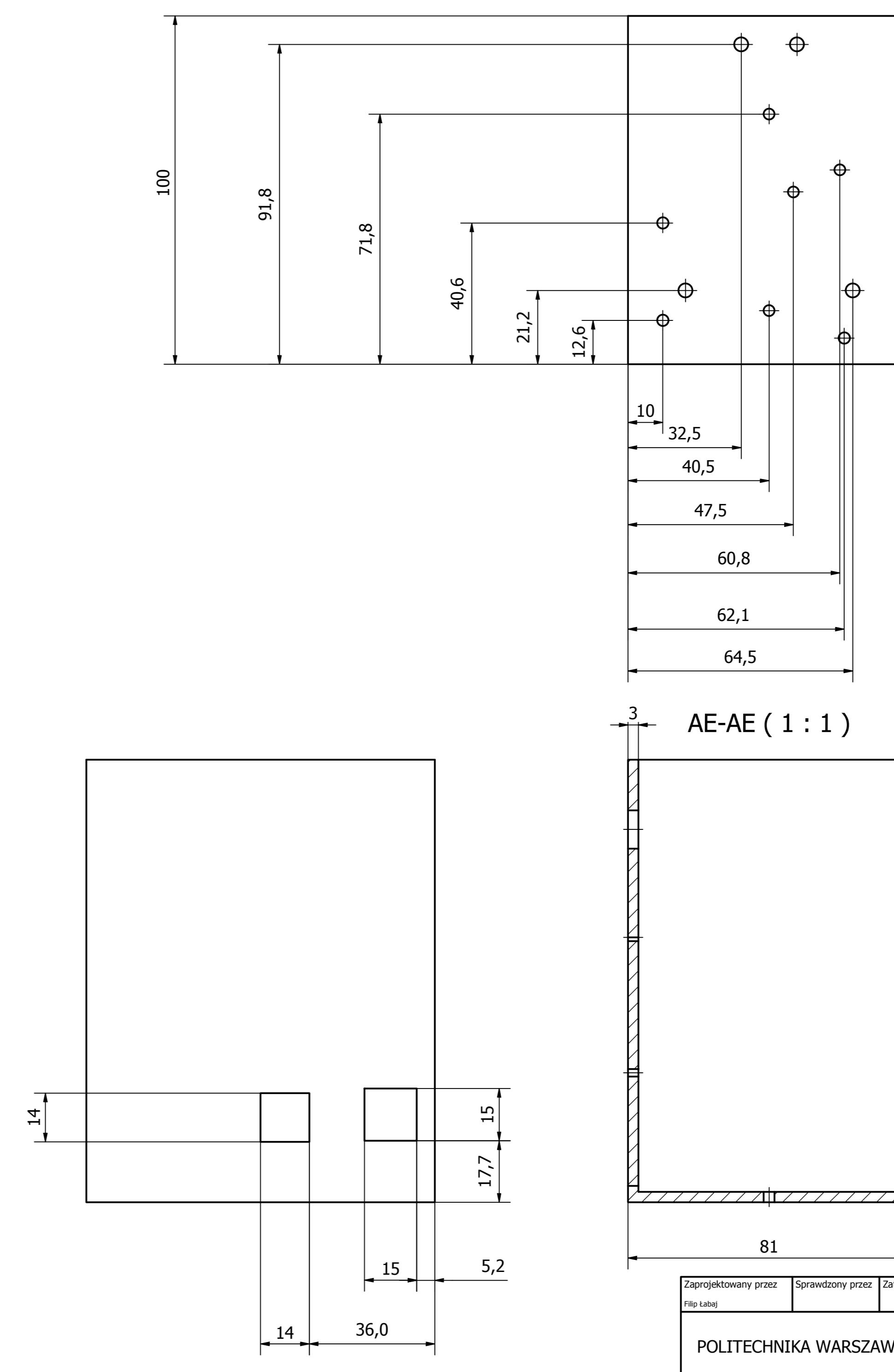
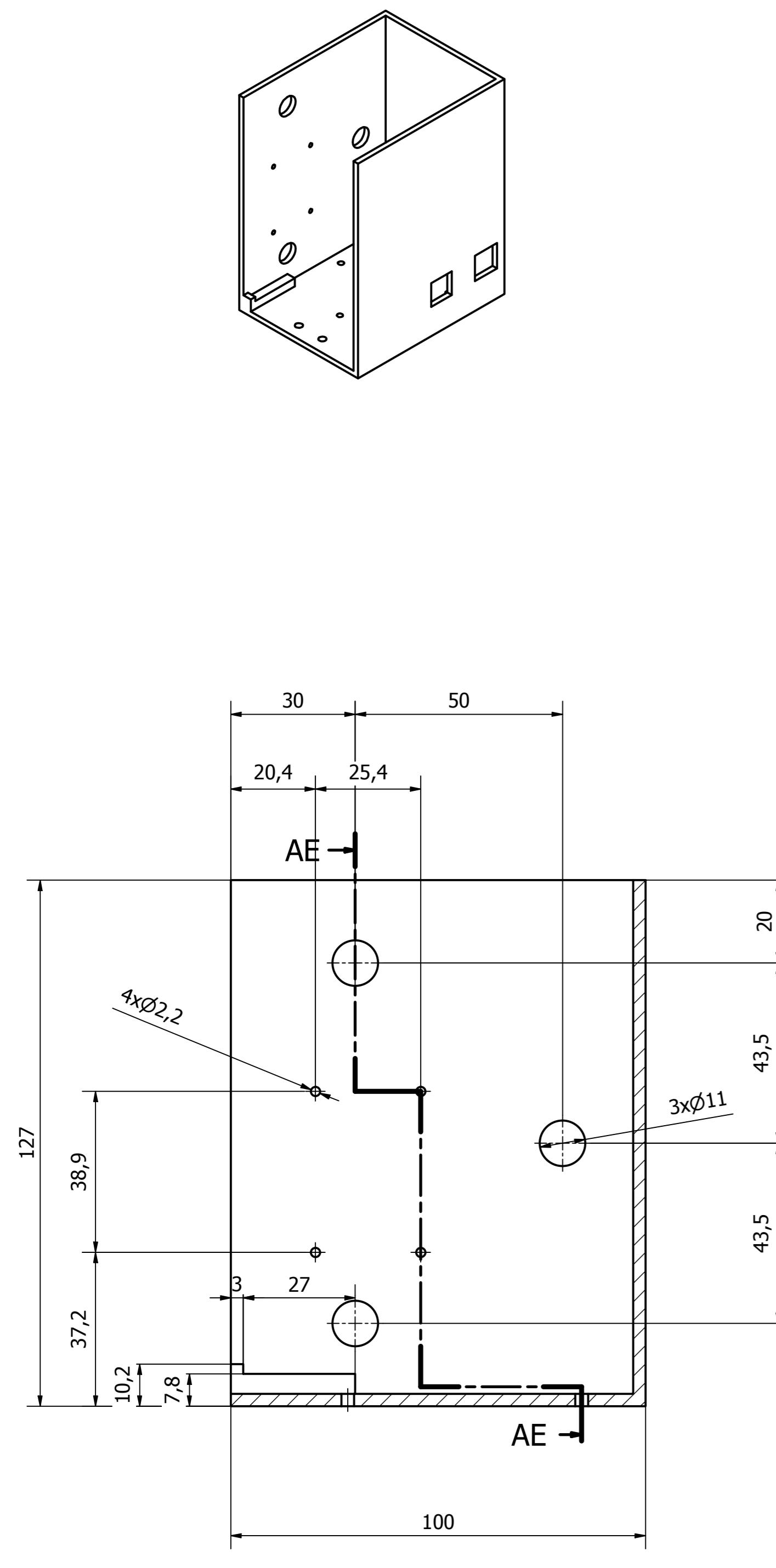
Y-Y ( 1 : 1 )



Tolerancje ogólne PN-EN 22768-1:1999 - f  
Niezwykłymiarowane fazy 1x45°

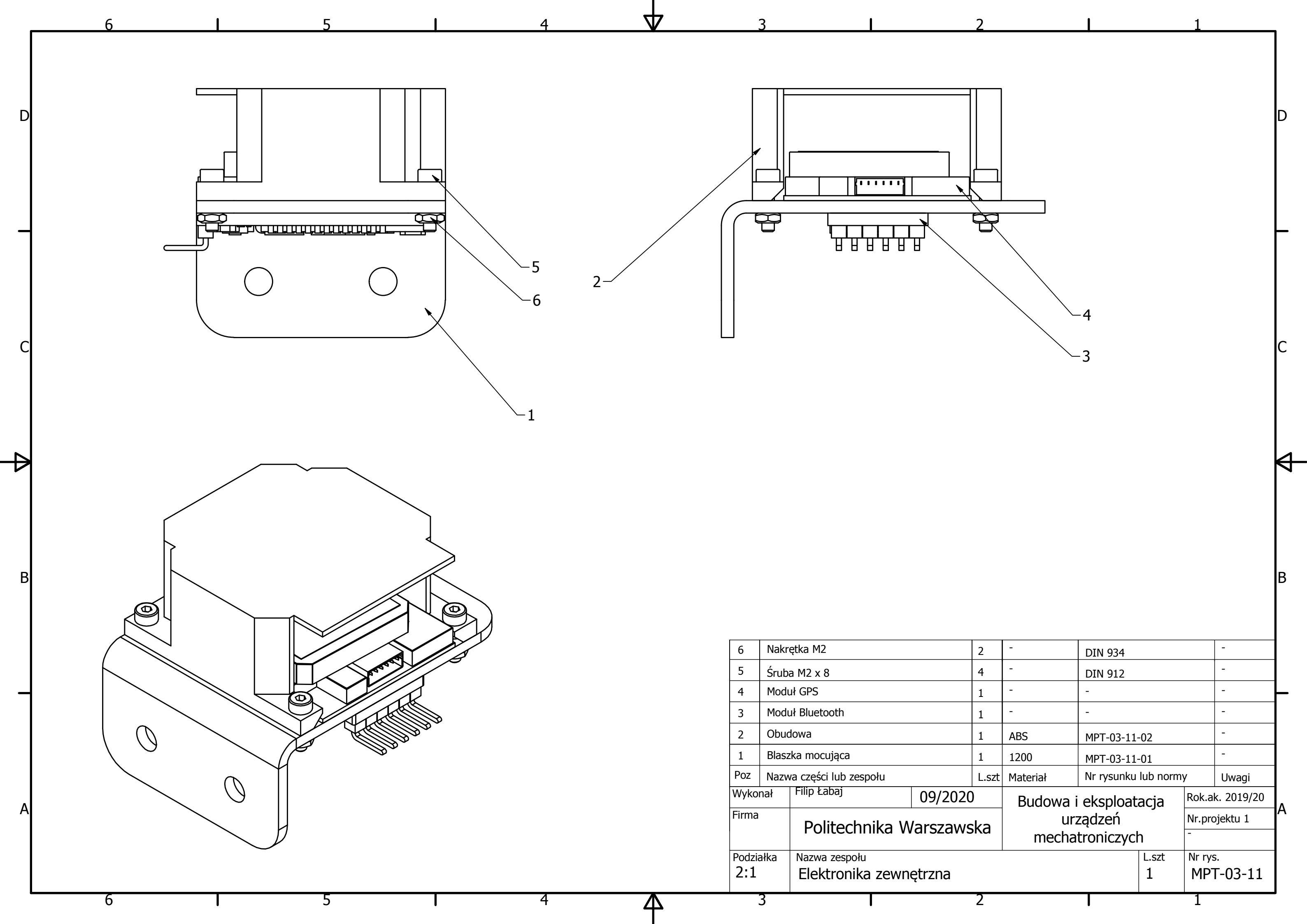
Zaprojektowany przez Filip Łabaj	Sprawdzony przez	Zatwierdzony przez	Materiał <b>ABS</b>	Data 09/2020	
POLITECHNIKA WARSZAWSKA			Ramię korby		
MPT-03-09			Skala 1:1	Arkusz 1/1	



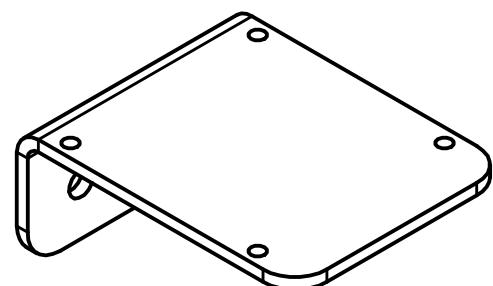
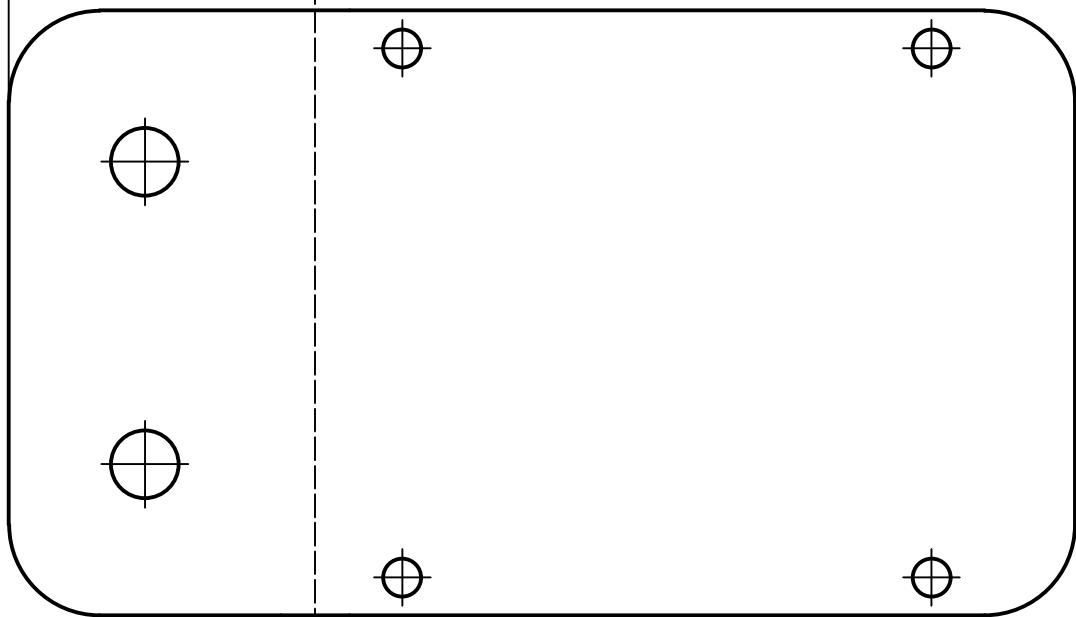


Tolerancje ogólne PN-EN 22768-1:1999 - f

Zaprojektowany przez Filip Łabaj	Sprawdzony przez	Zatwierdzony przez	Materiał <b>ABS</b>	Data 09/2020	A
POLITECHNIKA WARSZAWSKA		Obudowa elektroniki			
MPT-03-10-01		Skala 1:1		Arkusz 1/1	



20,26



Tolerancje ogólne PN-EN 22768-1:1999 - f  
Wykonać wg pliku CAD

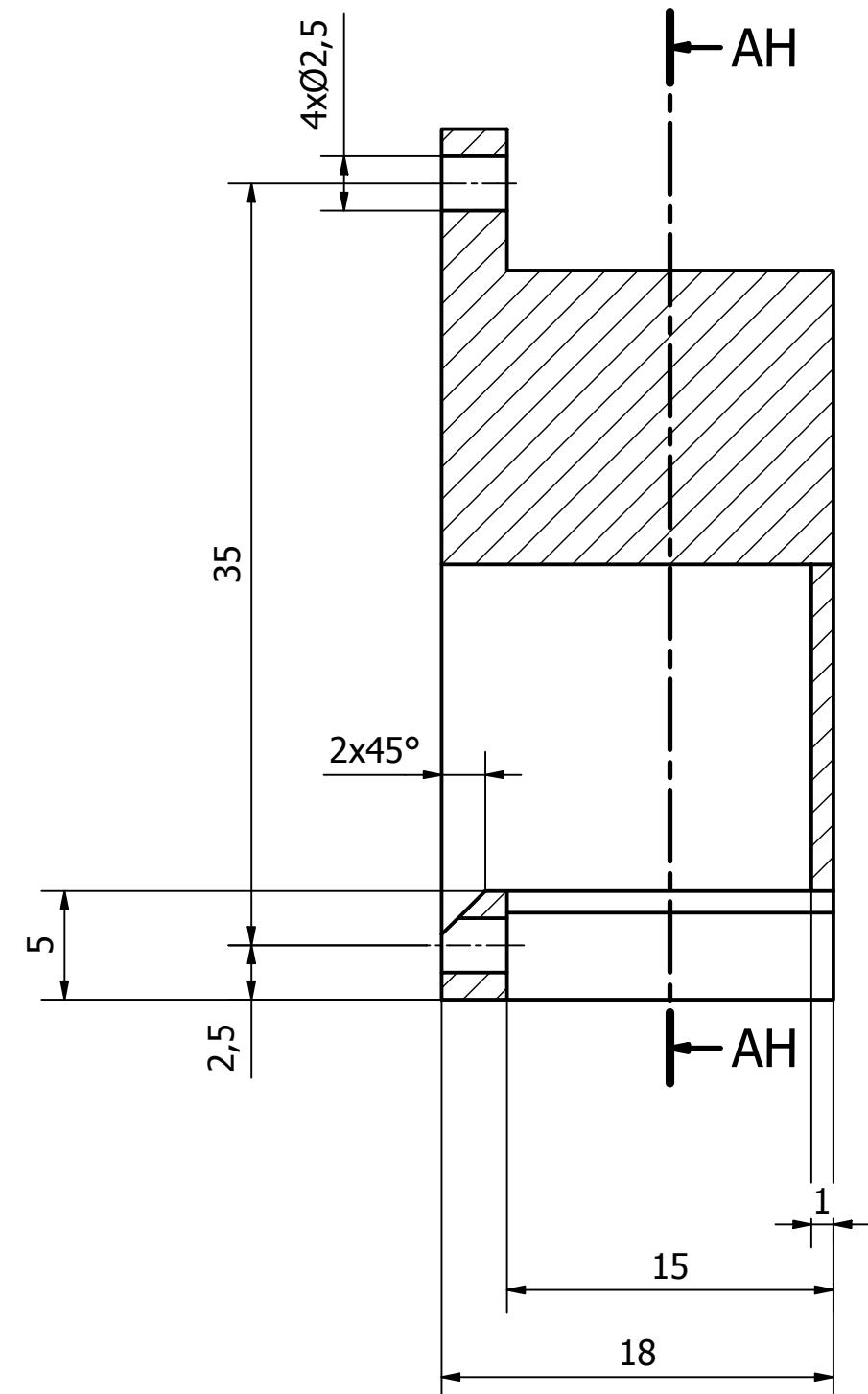
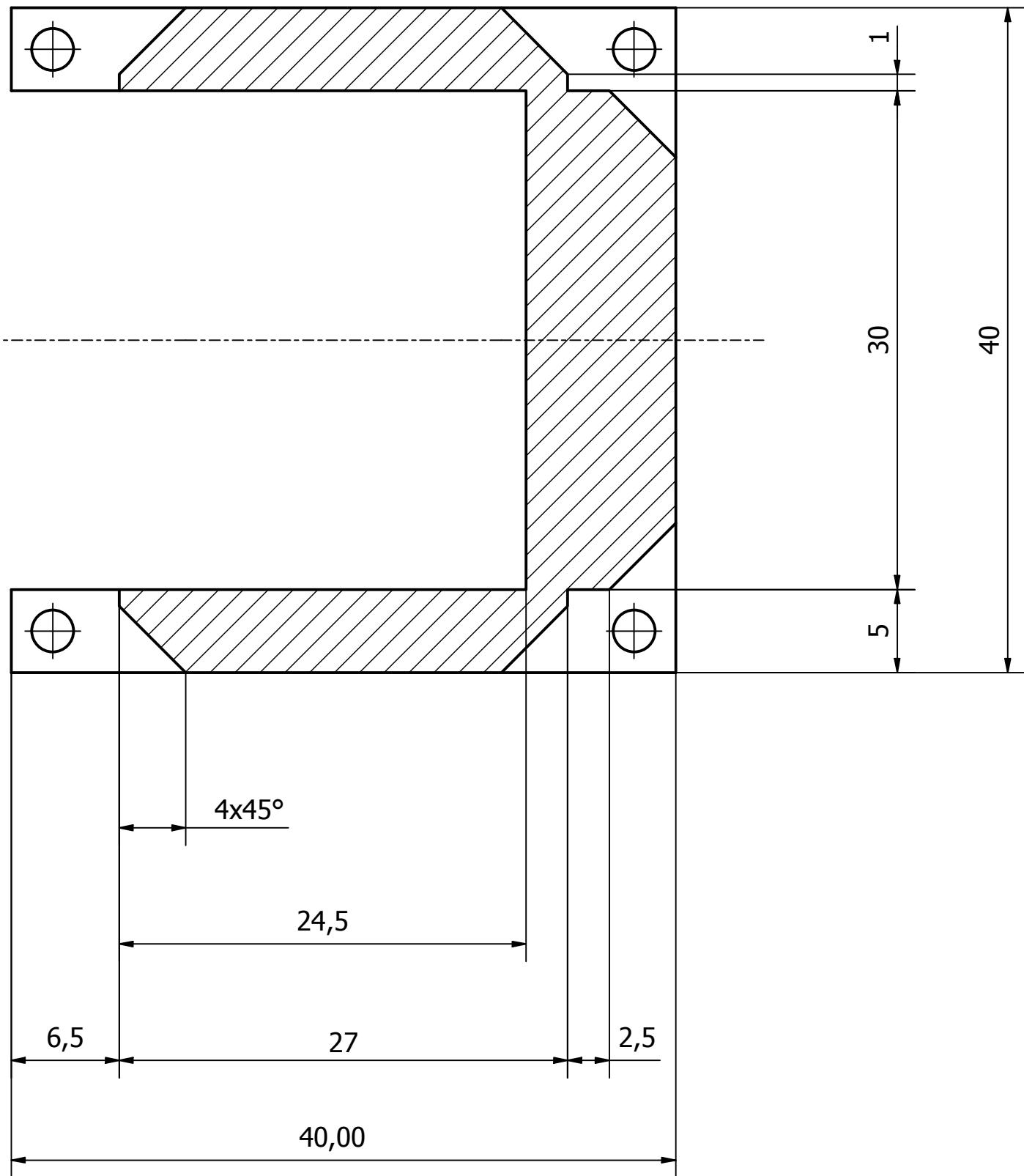
Zaprojektowany przez Filip Łabaj	Sprawdzony przez	Zatwierdzony przez	Materiał 1200	Data 09/2020	
POLITECHNIKA WARSZAWSKA			Blaszka mocująca		
MPT-03-11-01		Skala 2:1		Arkusz 1/1	

6 5 4 3 2 1

D

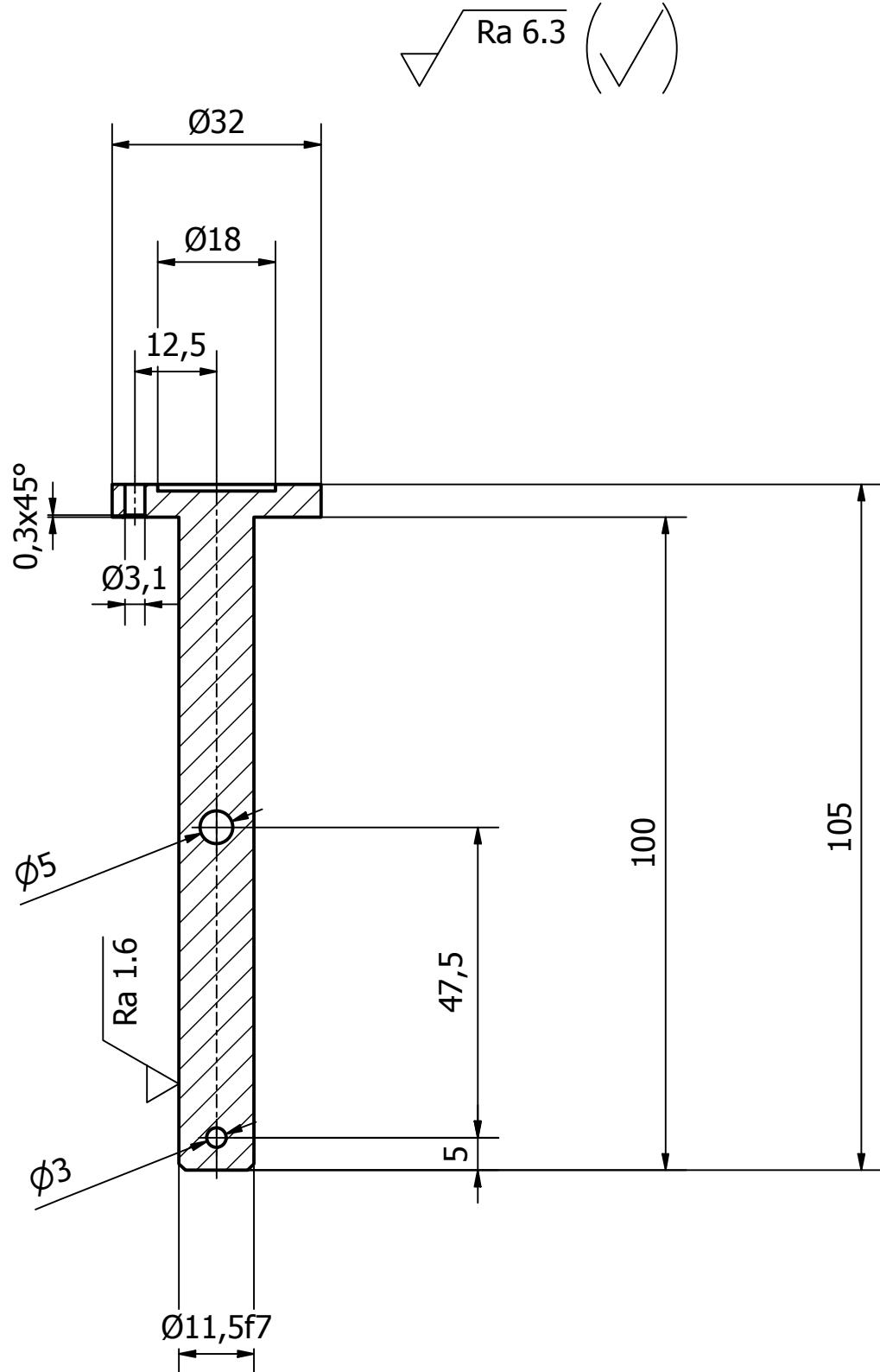
D

AH-AH ( 3 : 1 )



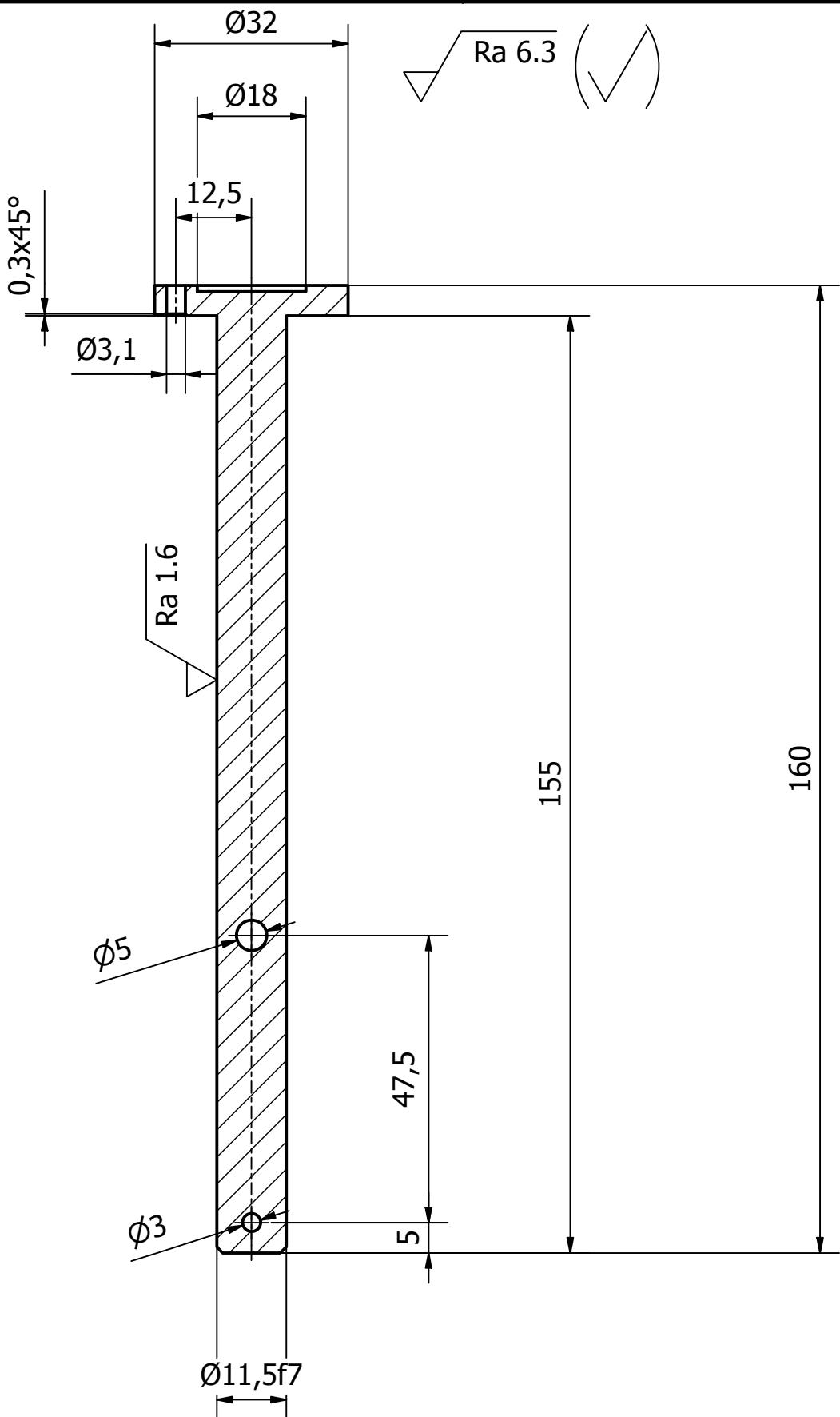
Tolerancje ogólne PN-EN 22768-1:1999 - f

Zaprojektowany przez Filip Łabaj	Sprawdzony przez	Zatwierdzony przez	Materiał ABS	Data 09/2020	
Obudowa elektroniki zewnętrznej					
POLITECHNIKA WARSZAWSKA	MPT-03-11-02	Skala 3:1	Arkusz 1/1		



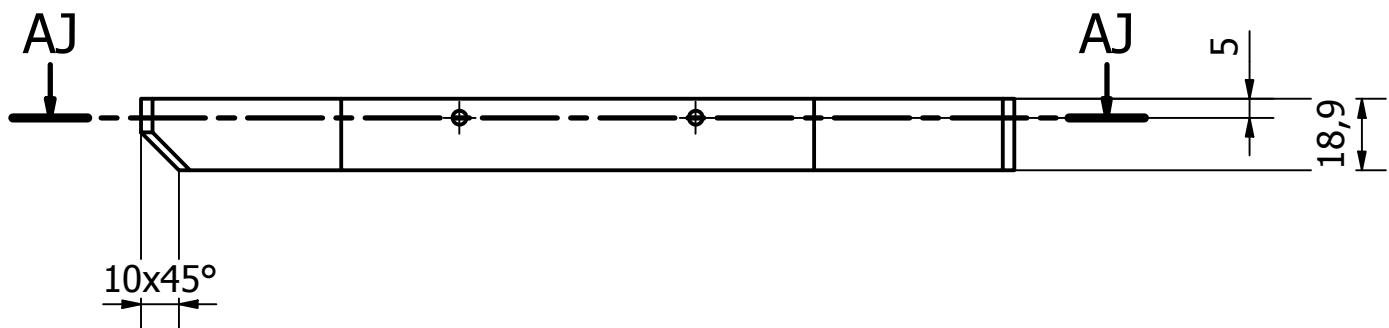
Tolerancje ogólne PN-EN 22768-1:1999 - f  
Niezwykłymiarowane fazy 1x45°

Zaprojektowany przez Filip Łabaj	Sprawdzony przez	Zatwierdzony przez	Materiał Żywica ceramiczna	Data 09/2020	
POLITECHNIKA WARSZAWSKA			Szczeka hamulca krótka		
MPT-03-18		Skala 1:1		Arkusz 1/1	

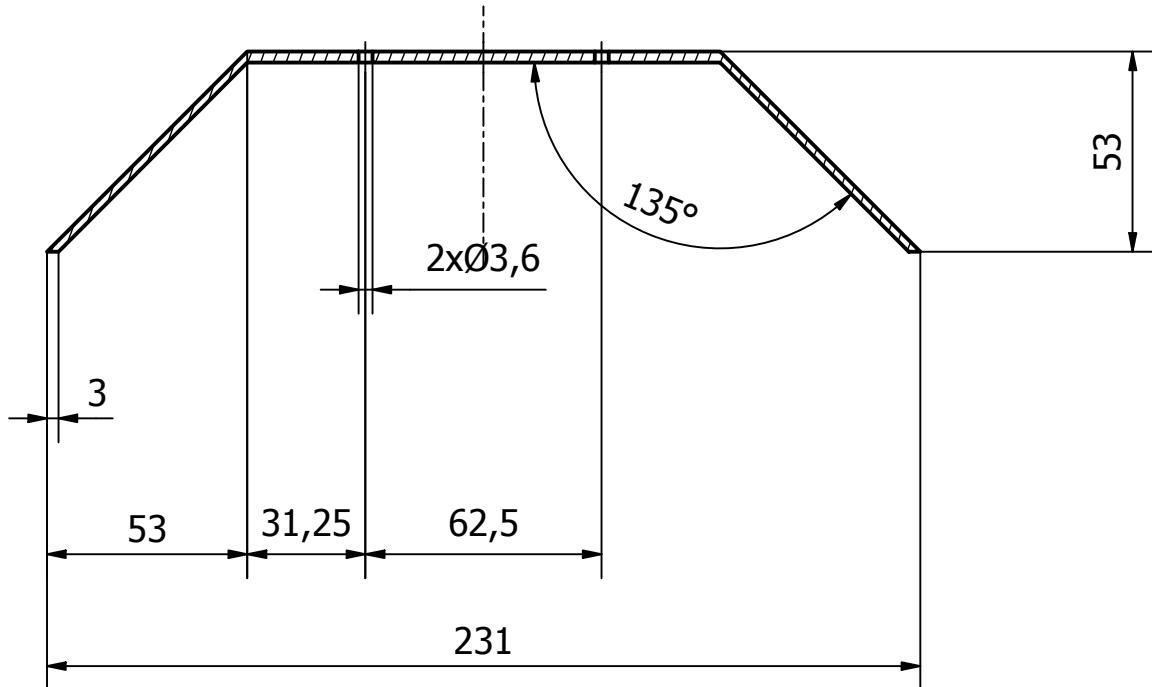


Tolerancje ogólne PN-EN 22768-1:1999 - f  
Niezwykłymiarowane fazy 1x45°

Zaprojektowany przez Filip Łabaj	Sprawdzony przez	Zatwierdzony przez	Materiał Żywica ceramiczna	Data 09/2020	
POLITECHNIKA WARSZAWSKA			Szczęka hamulca długa		
MPT-03-17		Skala 1:1		Arkusz 1/1	

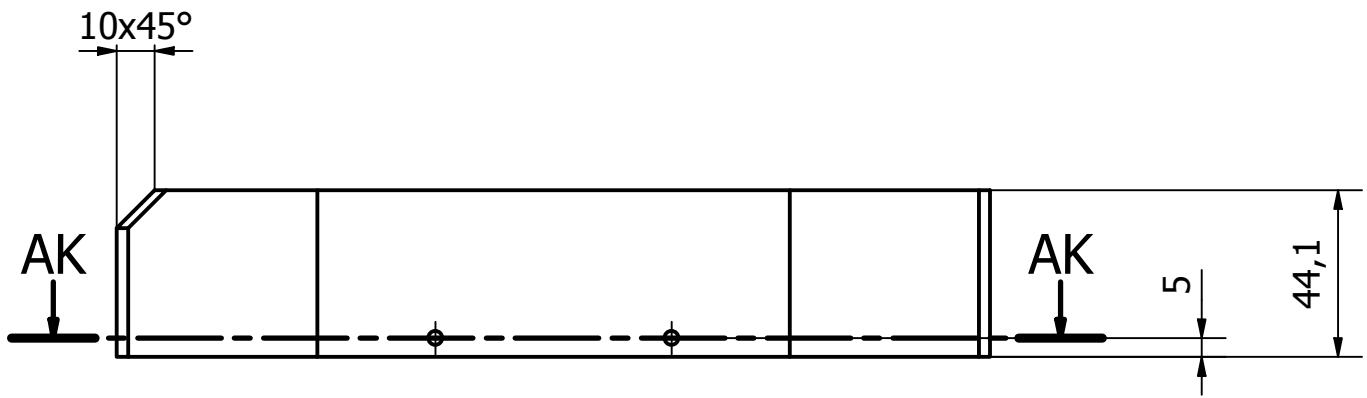


AJ-AJ

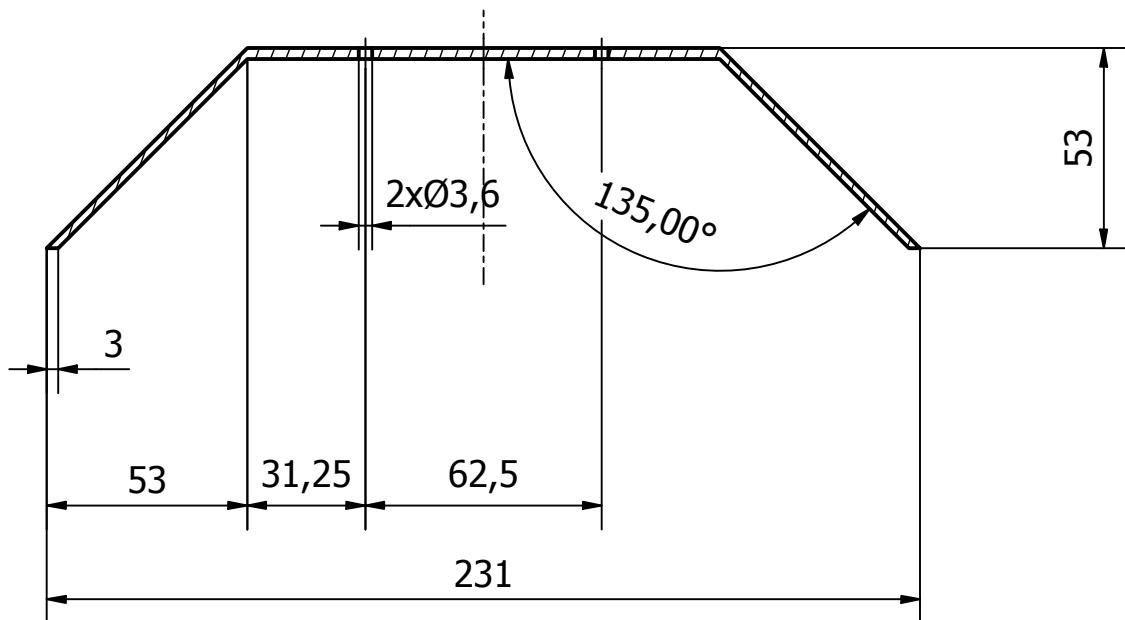


Tolerancje ogólne PN-EN 22768-1:1999 - f

Zaprojektowany przez Filip Łabaj	Sprawdzony przez	Zatwierdzony przez	Materiał <b>ABS</b>	Data 09/2020	
POLITECHNIKA WARSZAWSKA			Pokrywa górna krótka		
MPT-03-14		Skala 1:2		Arkusz 1/1	

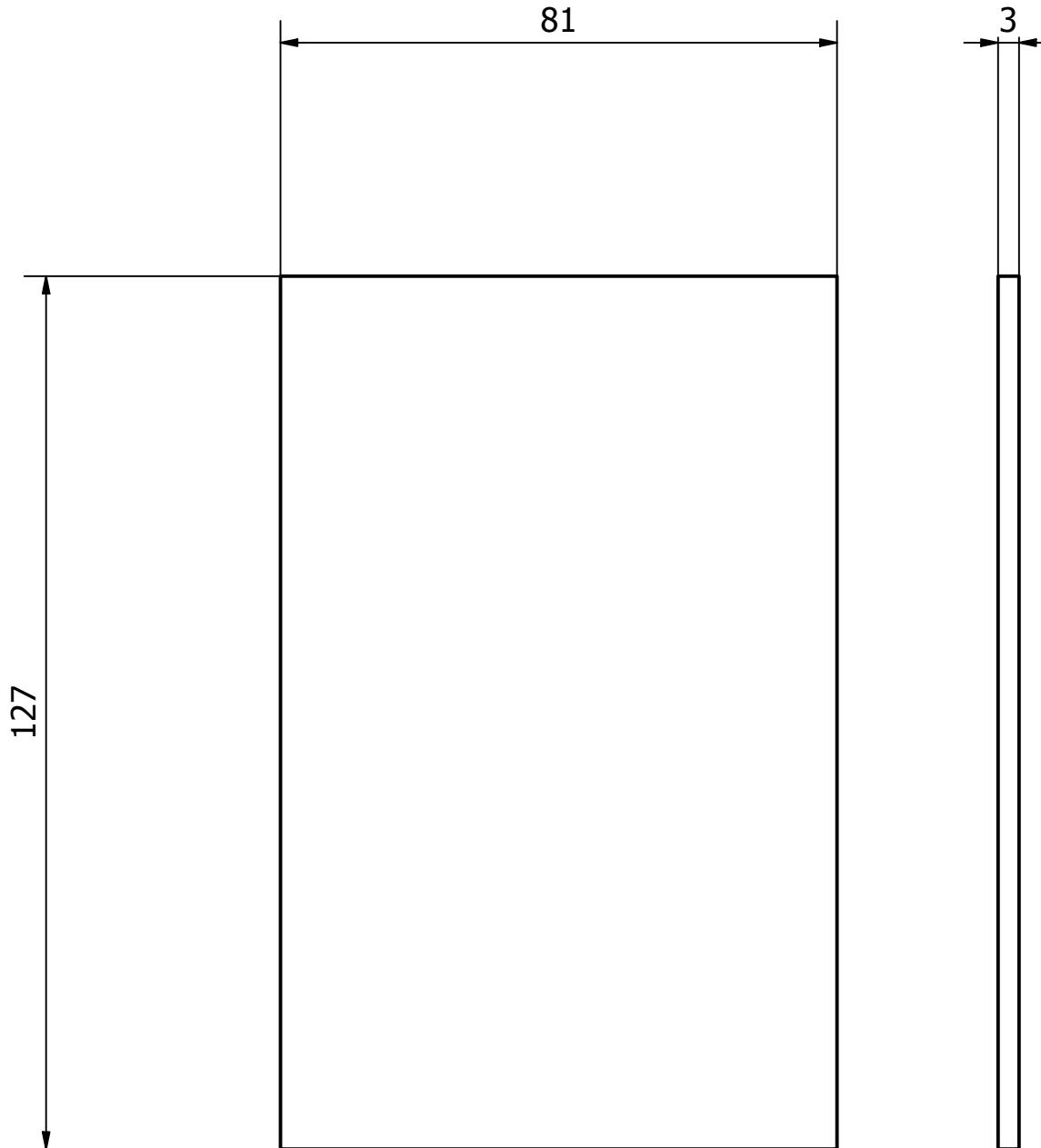


AK-AK



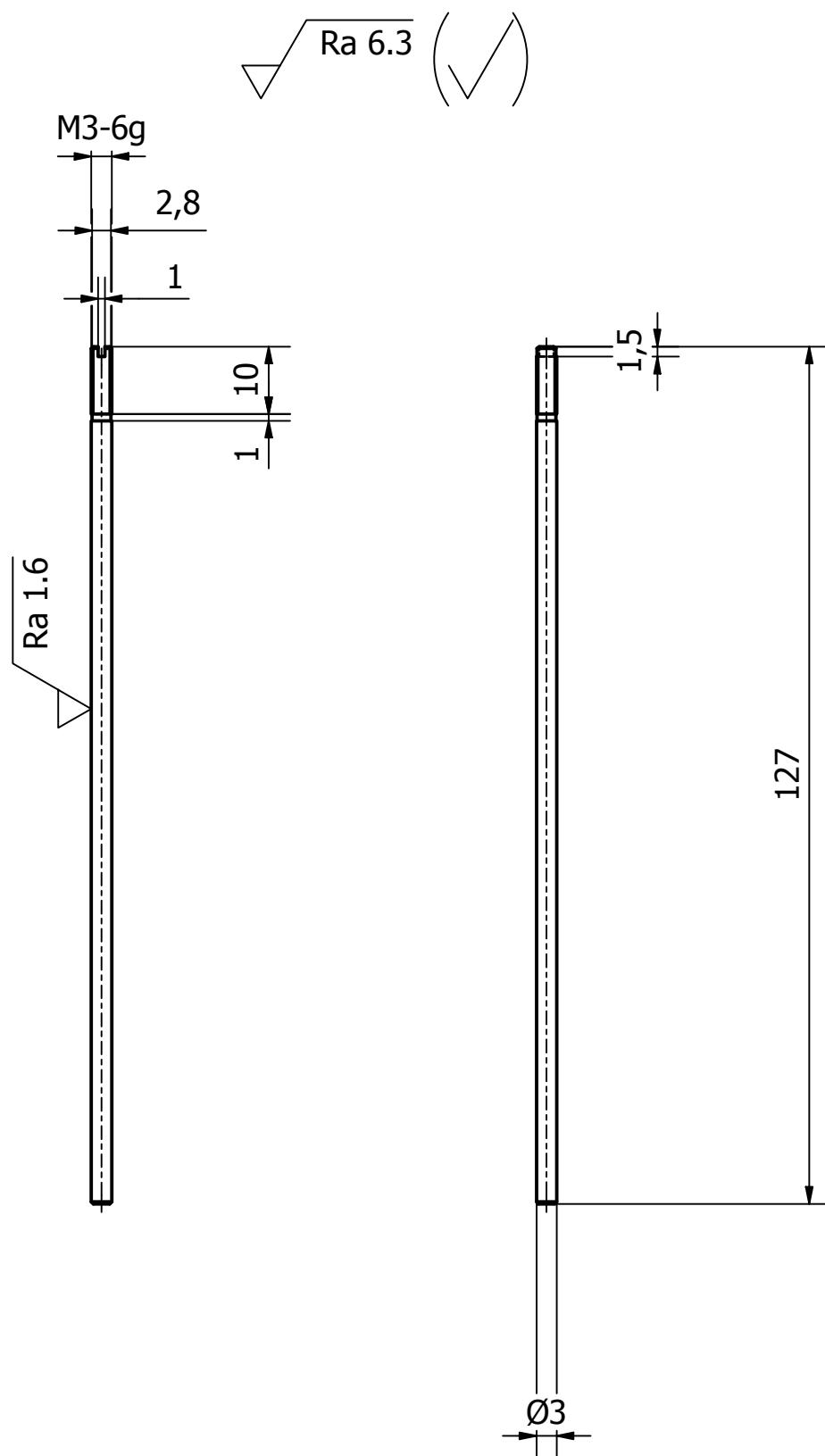
Tolerancje ogólne PN-EN 22768-1:1999 - f

Zaprojektowany przez Filip Łabaj	Sprawdzony przez	Zatwierdzony przez	Materiał <b>ABS</b>	Data 09/2020	
POLITECHNIKA WARSZAWSKA			Pokrywa górną długą		
MPT-03-15		Skala 1:2		Arkusz 1/1	



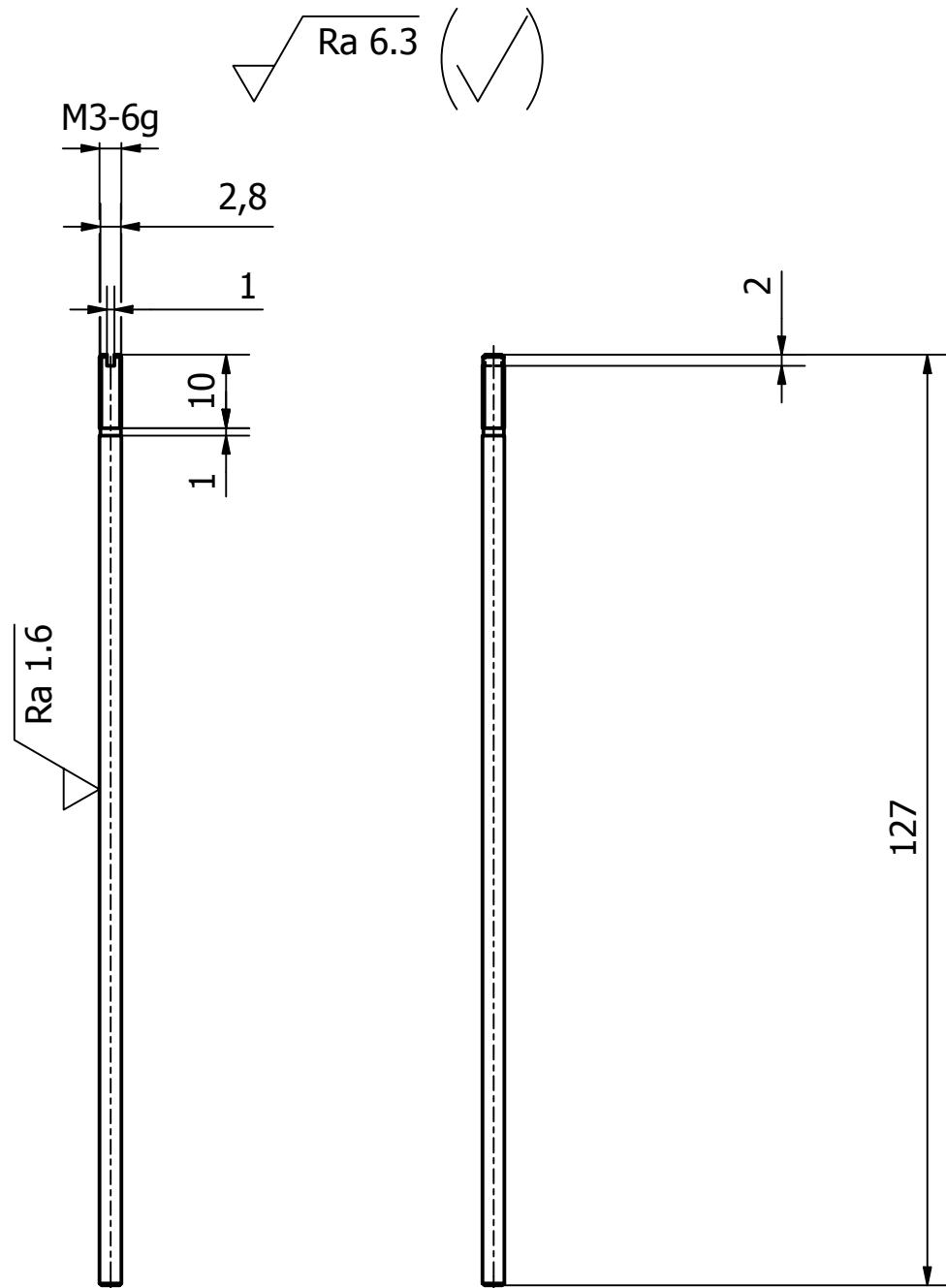
Tolerancje ogólne PN-EN 22768-1:1999 - f

Zaprojektowany przez Filip Łabaj	Sprawdzony przez	Zatwierdzony przez	Materiał <b>ABS</b>	Data 09/2020	
POLITECHNIKA WARSZAWSKA			Pokrywa elektroniki		
MPT-03-17		Skala 1:1		Arkusz 1/1	



Tolerancje ogólne PN-EN 22768-1:1999 - f

Zaprojektowany przez Filip Łabaj	Sprawdzony przez	Zatwierdzony przez	Materiał C55	Data 09/2020	
POLITECHNIKA WARSZAWSKA			Wałek prowadzący szczęki długiej MPT-03-19		
		Skala 2:1		Arkusz 1/1	



Tolerancje ogólne PN-EN 22768-1:1999 - f  
Niezwymiarowane fazy  $0,3 \times 45^\circ$

Zaprojektowany przez Filip Łabaj	Sprawdzony przez	Zatwierdzony przez	Materiał C55	Data 09/2020	
POLITECHNIKA WARSZAWSKA			Wałek prowadzący szczęki krótkiej MPT-03-20		
		Skala 2:1		Arkusz 1/1	

6 5 4 3 2 1

D

D

287,4

110

8,5 20

24,25

9

18,9

127

13

10x45°

13,3

64,1

AK

130

188,25

63,5

AK

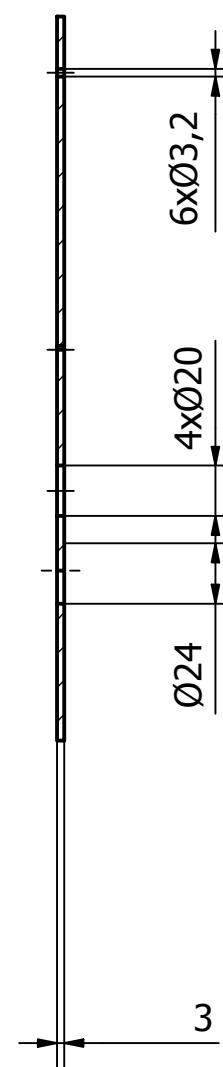
R20

110,75

63,5

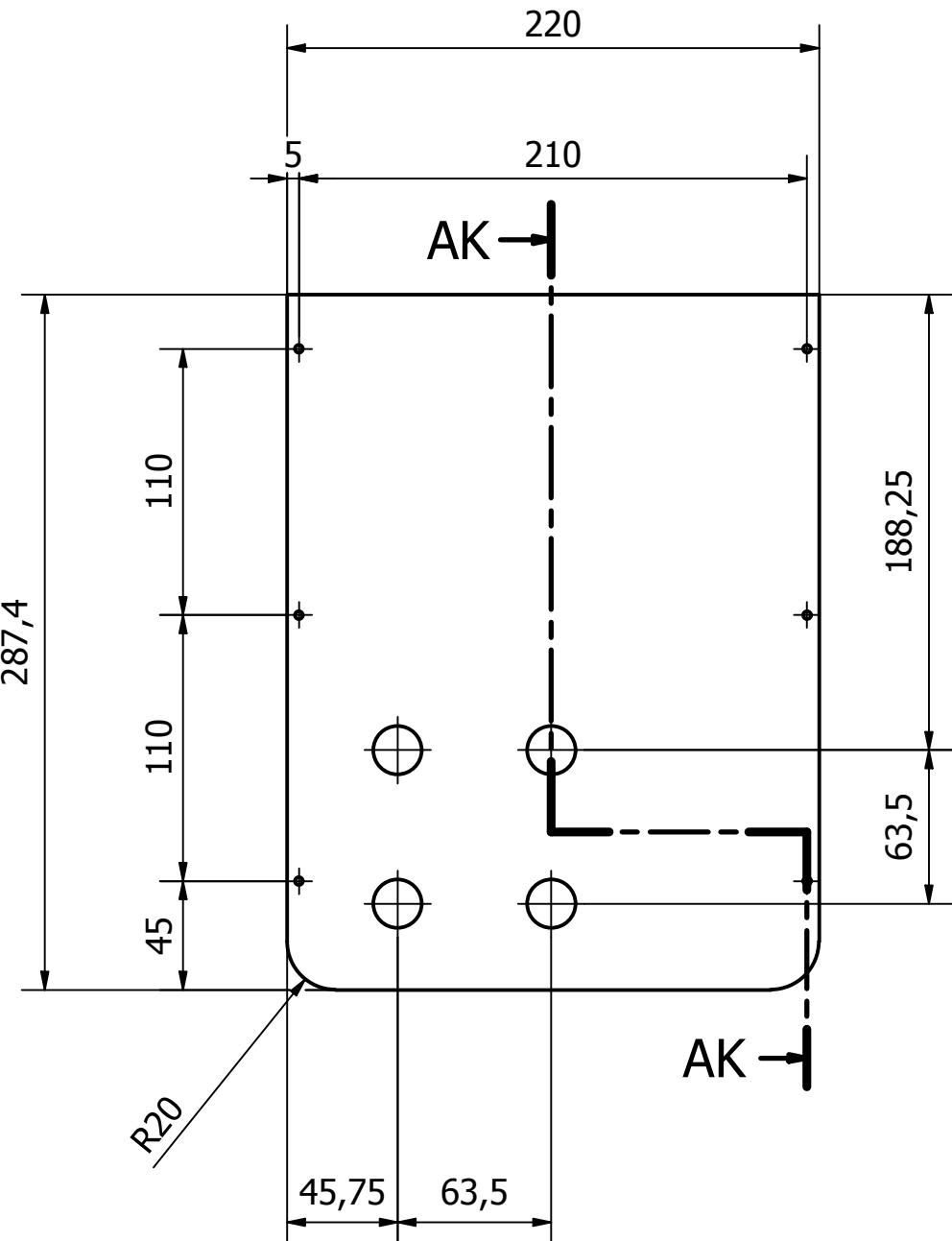
220

AK-AK ( 1 : 3 )



Tolerancje ogólne PN-EN 22768-1:1999 - f

Zaprojektowany przez Filip Łabaj	Sprawdzony przez	Zatwierdzony przez	Materiał ABS	Data 09/2020	
POLITECHNIKA WARSZAWSKA					Pokrywa tylna
MPT-03-23			Skala 1:3	Arkusz 1/1	



AK-AK

4

Tolerancje ogólne PN-EN 22768-1:1999 - f

Zaprojektowany przez Filip Łabaj	Sprawdzony przez	Zatwierdzony przez	Materiał <b>ABS</b>	Data 09/2020	
POLITECHNIKA WARSZAWSKA			Pokrywa tylna		
		MPT-03-24		Skala 1:3	Arkusz 1/1