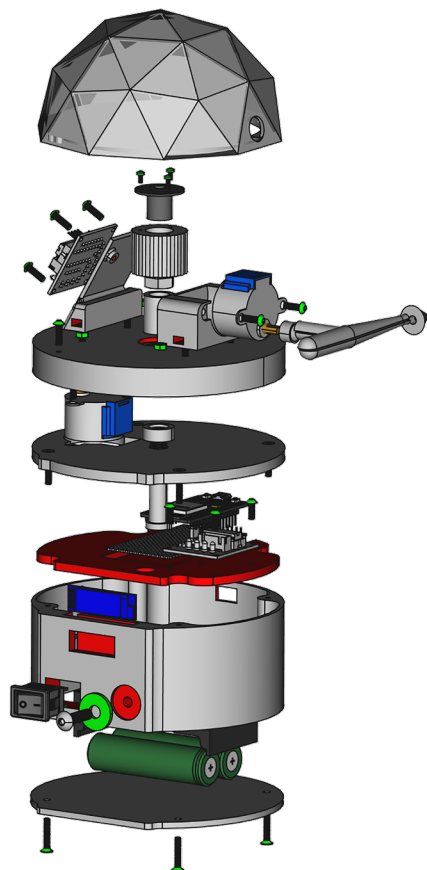
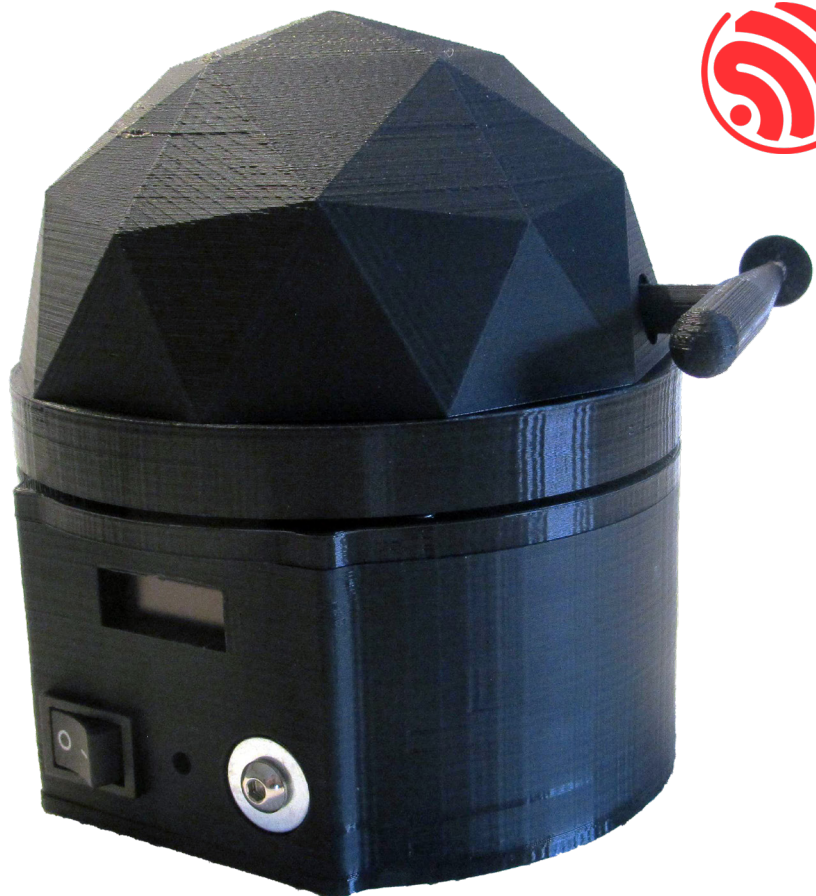


# Urządzenie wskazujące położenie Międzynarodowej Stacji Kosmicznej

Międzynarodowa Stacja Kosmiczna (ISS) znajduje się na orbicie ok. 400 km nad Ziemią. Okrąża ją w około 1,5 h i czasami widoczna jest na niebie (dzięki ogniwoom foto-woltaicznym odbija sporo światła) – jej jasność przekracza Wenus i może być widoczna gołym okiem nawet za dnia. Tylko jak ją odnaleźć na wielkim niebie? Opisane urządzenie będzie śledzić w czasie rzeczywistym położenie ISS i będzie stale wskazywało na nią, gdy orbituje wokół Ziemi.



Rysunek 1. Schemat konstrukcyjny

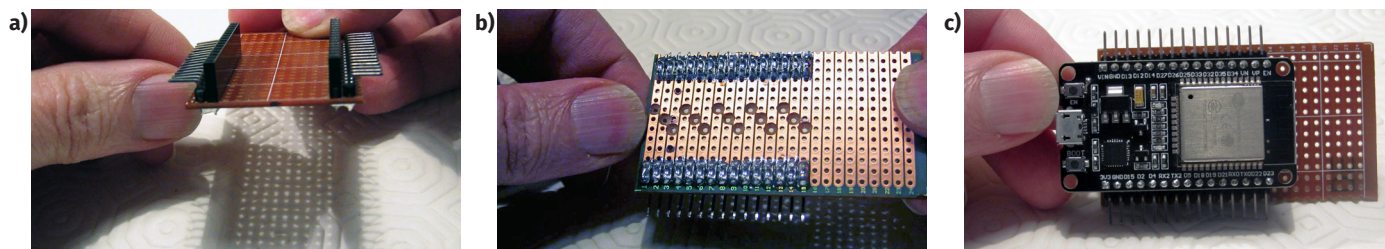


System jest zasilany z ogniw litowo-jonowych, dzięki czemu można go z łatwością używać poza domem. Jego pracą steruje moduł z mikrokontrolerem ESP32, który łączy się z Wi-Fi w celu pobrania aktualnych współrzędnych ISS. Następnie wykonuje obliczenia, aby wyznaczyć kąty między obserwatorem na Ziemi a ISS na niebie, tak, aby mógł skierować wskaźnik w jego stronę. Lokalizacja ISS jest aktualizowana co 5 sekund, więc urządzenie będzie ją dokładnie śledziło, gdy porusza się po niebie.

## Potrzebne elementy

Na rysunku 1 pokazano schemat konstrukcyjny. Do budowy urządzenia potrzebne będą następujące elementy:

- mikrokontroler ESP32 zintegrowany w module,
- wyświetlacz OLED o przekątnej 0,91" i rozdzielczości 128×32 pikseli,
- moduł ładowarki akumulatorów litowo-jonowych (2S – 7,4 V),
- zasilacz oparty na układzie MP1584EN,
- płytka uniwersalna (25×13 otworów),
- goldpiny i złącza o rastrze 2,54 mm,
- dwa ogniwa litowo-jonowe 18650 oraz koszyczek na nie,
- dwa silniki krokowe 28BYJ-48,
- dwie płytki sterowników silnika krokowego ULN2003,
- łożysko 60002RS (10×26×8 mm),
- pierścień ślizgowy z sześcioma torami,
- przełącznik kołkowy KCD1-104,



Fotografia 1. Sposób montażu modułu z ESP32 na płytce uniwersalnej

- gniazdo zasilacza 2,1 mm,
- przewody połączeniowe do łączenia obwodów,
- zestaw różnych śrub i nakrętek,
- elementy wydrukowane w technice 3D (pliki do druku 3D znaleźć można na portalu Thingiverse <https://bit.ly/3a96XsJ>).

### Moduł sterujący

Głównym elementem urządzenia jest mikrokontroler ESP32, który wykonuje wszystkie obliczenia i steruje silnikami krokowymi, aby ustawić wskaźnik względem ISS. Zastosowany moduł z ESP32 ma postać małej płytki rozwojowej, dzięki czemu zawiera złącze micro USB, ułatwiające programowanie z komputera. Zostanie umieszczony na płytce uniwersalnej, pokazanej na **fotografii 1a**, która ułatwi jego integrację z pozostałymi elementami wskaźnika.

Montaż rozpoczynamy od kawałka płytki uniwersalnej z otworami o rastrze 2,54 mm i ułożeniu 24×13. Po przylutowaniu złączy i goldpinów, tak jak na **fotografii 1b**, należy przeciąć miedziane paski, aby każda strona ESP32 była elektrycznie oddzielona. Autor projektu robi to, lekko rozwiercając otwory wiertłem 3 mm. Można to zrobić też ostrym nożem lub skalpelem. Zamiast włutować moduł bezpośrednio na płytkę uniwersalną, lepiej jest włutować złącza żeńskie, aby można było łatwo zamontować oraz wyjąć.

W celu wykonania połączeń z płytką dodano dodatkowy rząd kątowych goldpinów. Połączenia można wykonać przewodami, które mają na końcach typowe złącza do łączenia z goldpinami. Dzięki temu łatwo można łączyć i odłączać różne komponenty od płytki, co ułatwia testowanie i uruchamianie modułu. Złącze USB powinno wystawać poza krawędź płytki uniwersalnej (**fotografia 1c**), dzięki czemu w obudowie będzie trochę więcej miejsca.

### Schemat połączeń

Schemat elektryczny został pokazany na **rysunku 2**. Pokazuje, jak połączyć wszystkie komponenty elektryczne ze sobą. Każdy składnik należy dołączyć, a następnie przetestować przed przejściem do następnej sekcji układu. Dzięki temu układ zostanie zbudowany poprawnie i da się łatwo uruchomić. Połączenia zostały wykonane za pomocą typowych dla zestawów uruchomieniowych kabelków ze złączami do goldpinów. Dzięki

temu można je łatwo zmieniać bez konieczności ich wylutowywania.

### Montaż obudowy urządzenia

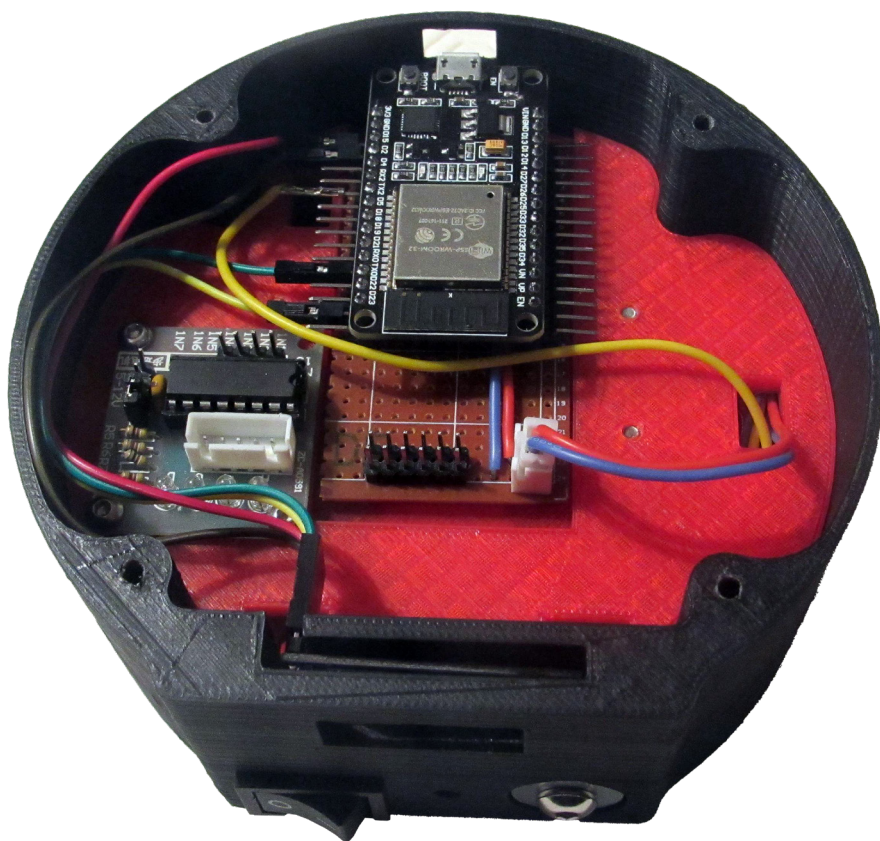
Cały układ wykonany jest z elementów wydrukowanych w technice 3D. W pierwszej kolejności należy wydrukować zewnętrzną obudowę sekcji podstawy ze wspornikami, ponieważ ma ona otwory na przełączniki. Autor wewnętrzną płytkę wydrukował w kolorze czerwonym, aby lepiej było widać je na zdjęciach. Na tym etapie można sprawdzić dopasowanie komponentów, które będą osadzone w obudowie, w tym gniazdo zasilania, włącznik, buzzer, przełącznik dotykowy i wyświetlacz OLED.

Wszystkie otwory w płycie wewnętrznej można rozwiercić do średnicy 2,5 mm, a następnie gwintować gwintownikiem M3 (takim jak do metalu). Będą one używane jako punkty mocowania obudowy akumulatora i sterownika silnika krokowego. Należy pamiętać, aby wkręcić śruby mocujące baterię od spodu (płaska powierzchnia), a otwory silnika krokowego od góry

(z wgłębieniem na płytkę uniwersalną z modułem ESP32). Wewnętrzna płyta powinna wsuwać się w główny korpus osłony zewnętrznej i będzie spoczywać na dwóch podporach. Aby utrzymać ją na miejscu, można dodać kilka kropli kleju typu superglue (**fotografia 2**).

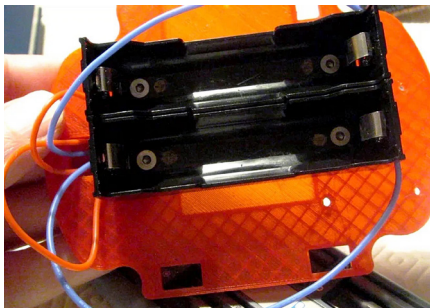
Przy opisie ruchu urządzenia astronomicznego, obrót podstawy od lewej do prawej nazywany jest azymutem. W tej sekcji znajduje się również azymutalny sterownik silnika krokowego. Gotowe płytki z driverem ULN2003 są często pozostawiane z długimi wyprowadzeniami komponentów od strony lutowania. Dobrym pomysłem jest przycięcie ich równo przed montażem. Płytkę sterownika silnika krokowego można teraz zamocować na miejscu za pomocą przygotowanych śrub maszynowych.

Teraz należy podłączyć moduł z ESP32 do zasilacza bateryjnego, azymutalnego sterownika silnika krokowego, wyświetlacza OLED i włącznika dotykowego zgodnie ze schematem elektrycznym, pokazanym na **rysunku 2**.



Fotografia 2. Montaż bazy układu wraz z modułami elektronicznymi





Fotografia 3. Sposób zamontowania koszyków na akumulatorki

### Zasilanie

Urządzenie może być zasilane z zasilacza sieciowego 5 V przez złącze zasilania, gdy jest uruchomione w pomieszczeniu. Po podłączeniu system będzie ładował ogniwa litowo-jonowe za pomocą specjalnego modułu ładowania, zabezpieczającego je, aby nie ulegały przeładowaniu (ponieważ może to być niebezpieczne). Jeśli kabel ładujący zostanie odłączony, przełącznik z przodu może zasilać urządzenie z wbudowanych ogniw.

Ogniwa litowo-jonowe zostały pozyskane ze starego laptopa. Autor konstrukcji nałożył jedynie na nie nowe, czerwone osłony z rurki termokurczliwej. Ogniwa są umocowane w specjalnym koszyku, który łączy je ze sobą. Sam koszyk przymocowany jest do wewnętrznej płyty urządzenia za pomocą śrub z łbem stożkowym (fotografia 3). Gniazdo zasilania jest podłączone do obwodu ładowarki, a napięcie wyjściowe z ogniw jest podawane do przetwornicy, która stabilizuje napięcie zasilania 5 V.

### Obrotnica oraz kopuła

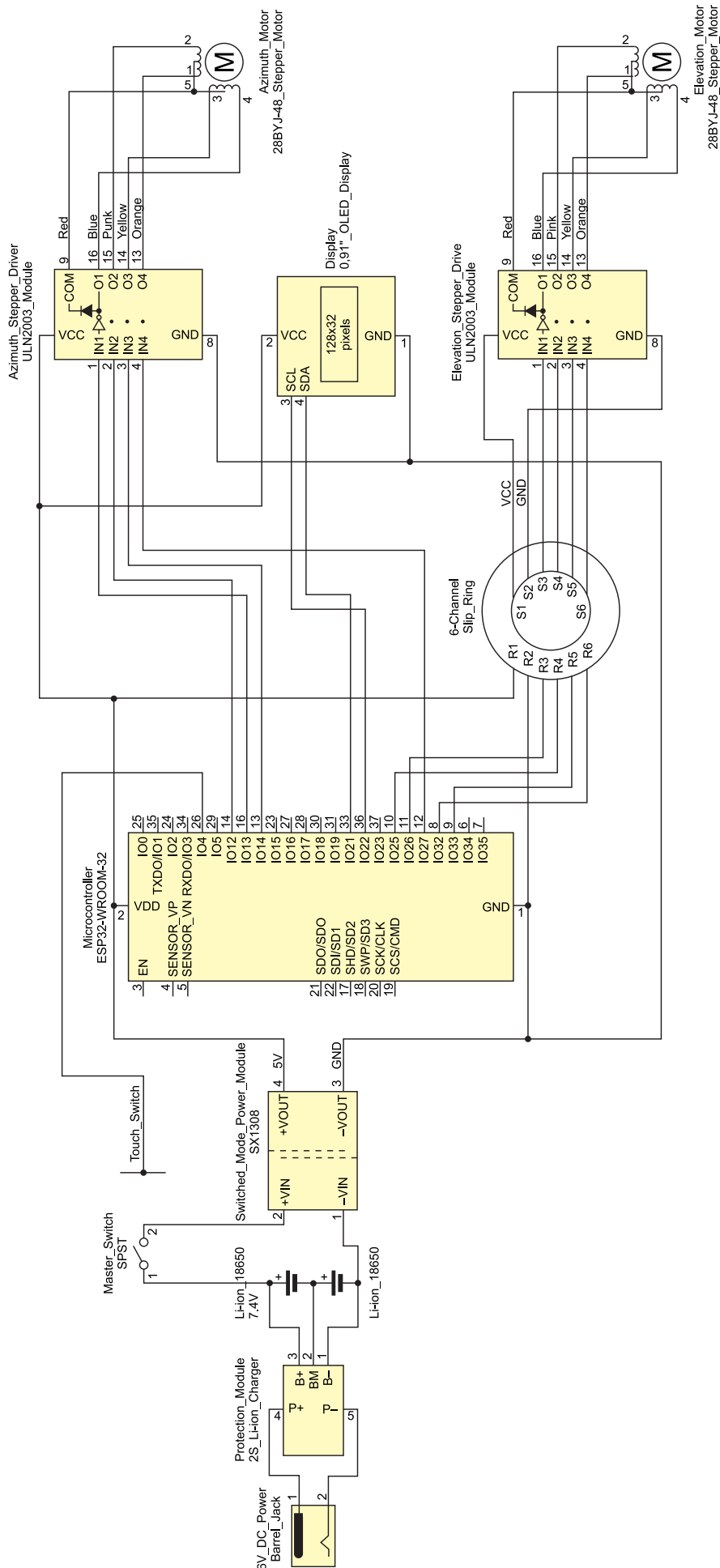
Niezbędne elementy składowe wydrukowane w technice 3D to (angielskie nazwy korespondują z plikami do pobrania z portali Thingiverse):

- 003 Spindle Plate,
- 003 Centre Spindle,
- 003 Spacer for Rotating Platform,
- 003 Involute Azimuth Gear.

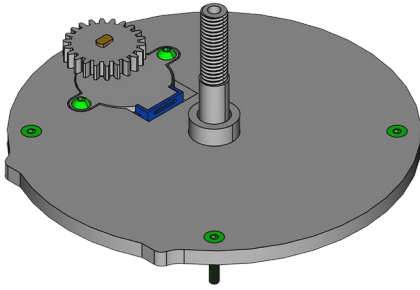
Montaż jest bardzo prosty. Należy zamocować silnik krokowy na miejscu za pomocą śrub do metalu, podkładek i nakrętek, tak aby dobrze trzymał się na miejscu. Gwint osi obrotu można oczyścić za pomocą gwintownika M8, a wydrążony środek należy rozwiertić wiertłem o średnicy 5 mm, aby żadne pozostałości z druku 3D nie zaczepiły o przewody podczas ich przewlekania. Oś jest umieszczana w płycie za pomocą klucza, który zapobiega jej obracaniu się. Kropla kleju zapewnia, że nie zostanie on wypchnięty ze swojego miejsca podczas montażu. Na rysunku 3 pokazano projekt zmontowanej podstawy obrotnicy.

Kolejne elementy składowe wydrukowane w technice 3D to:

- 004 Rotating Platform,
- 004 Long Collar,
- 004 Slip Ring Holder,



Rysunek 2. Schemat elektryczny opisywanego urządzenia



Rysunek 3. Projekt zmontowanej podstawy obrotownicy

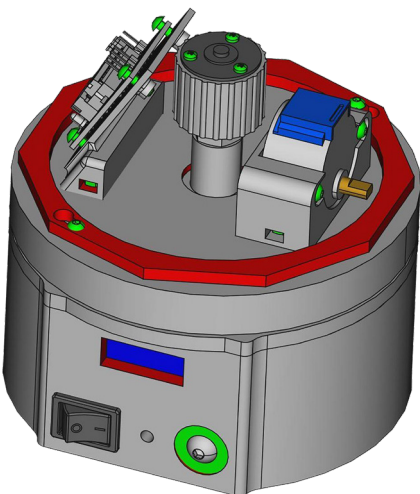
- 004 Elevation Motor Housing,
- 004 Elevation Driver Mount.

Obrotowa platforma ma łożysko 60002RS umieszczone w środku. Jest ono ciasno wpasowane, więc pistolet na gorące powietrze może zostać użyty do podgrzania metalowego korpusu łożyska i środka obrotowej platformy. Delikatny ruch wirowy opalarki zapewnia, że obszar nie zostanie przegrzany, ponieważ może szybko się odkształcić, jeśli zastosuje się zbyt dużo ciepła. Łożysko można następnie umieścić na górze wnęki i wcisnąć na miejsce płaskim przedmiotem. Gdy PLA wydruku ostygnie, będzie pewnie trzymać ten element na miejscu.

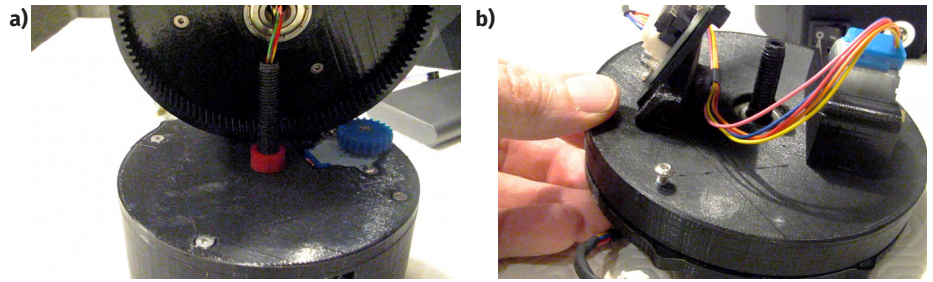
W tym momencie można umieścić przekładnię azymutalną od wewnątrz obrotowej platformy, aby upewnić się, że zęby koła zębatego zazębiają się swobodnie i nie zaczepiają o żadne niedoskonałości wydruku.

Uchwyt 004 Elevation Driver Mount można przymocować do obrotowej platformy za pomocą wkrętów z łbem stożkowym M3×12 mm i nakrętek uwięzionych wewnątrz uchwytu sterownika. Płytkę drukowaną jest mocowana za pomocą wkrętów M3×10 mm wkręcanych w gwintowane otwory w drukowanej podstawie sterownika.

Obudowa silnika elewacji jest również mocowana za pomocą śrub i nakrętek uwięzionych w plastiku, a silnik powinien dobrze pasować do obudowy. Pomocne może być użycie pęsety do precyzyjnego umieszczenia



Rysunek 4. Wygląd konstrukcji przed zamontowaniem kopuły



Fotografia 4. Obrotnica i jej oś podczas montażu

nakrętek we właściwym miejscu. Wiązkę przewodów silnika krokowego można podłączyć do sterownika. Należy uważać, aby przewody nie dotykały środkowej osi, ponieważ będzie się ona obracać w czasie pracy urządzenia.

Następnie należy wsunąć pierścień dystansowy na oś, a potem na zespół platformy obrotowej. Drugi kołnierzyk można umieścić za nim na osi. Sześć połączeń pierścienia ślizgowego należy przeprowadzić przez uchwyt pierścienia ślizgowego, a następnie przewlec przez wydrążone wrzeciono – może to być nieco trudne, najłatwiej jest wykonać to pojedynczo. Teraz można przykręcić uchwyt pierścienia ślizgowego do osi obrotownicy. Wystarczy ją dokręcić mocno palcami, sprawdzając, czy obrotnica może swobodnie poruszać się na łożysku. Obrotnica nie obraca się szybko, ale komponenty zamontowane na niej zostały umieszczone po przeciwnych stronach, aby była maksymalnie wyważona. Gdy wszystkie części są na miejscu, można przymocować pierścień ślizgowy do uchwytu za pomocą trzech wkrętów samogwintujących. Przy wykonywaniu tej części konstrukcji pomocna będzie **fotografia 4**.

Ostatnia partia elementów do druku 3D składa się na kopułę. Należy wydrukować następujące elementy:

- 005 Geodesic Dome,
- 006 Pointer Body Bottom Half,
- 006 Pointer Body Top Half,
- 006 Pointer Front Cone,
- 006 Pointer Locking Ring,
- Geodesic Locking Ring Jig,
- 000 Base Plate.

Konstrukcja powinna wyglądać jak na **rysunku 4**. Nadszedł czas, aby dokończyć montaż, instalując kopułę. Geodesic Locking Ring należy umieścić na szczycie obrotowej platformy, a następnie użyć go do ustawienia śrub blokujących na odpowiedniej wysokości, aby dobrze zablokować kopułę na mocujących ją elementach. Kopułę zabezpiecza się, po prostu upuszczając ją na śruby i przekręcając, aby zablokować ją na miejscu. Podczas montażu należy upewnić się, że boczny otwór znajduje się w jednej linii z wałem silnika krokowego do podnoszenia wskaźnika.

Wskaźnik składa się z dwóch połówek, stożkowej strzałki z przodu i pierścienia blokującego z tyłu. Gdy kopuła jest na miejscu, wystarczy nasunąć wskazówkę na silnik krokowy elewacji, przykręcić podstawę i system jest gotowy do programowania i testowania.

## Obliczenia pozycji ISS i oprogramowanie

Na stronie projektu umieszczono obliczenia matematyczne, które posłużyły do ustalenia lokalizacji ISS. Można pominąć tę sekcję, jeśli używa się gotowego programu, ale autor udostępnia go dla osób chętnych, aby zrozumieć, w jaki sposób system działa. Główny program sterujący trackerem ISS został pokazany na **listingu 1** (dostępny w materiałach dodatkowych do artykułu i na stronie <https://bit.ly/2MbuIZc>). Ze strony z projektem można pobrać plik `.ino` lub po prostu skopiować kod i wkleić go do Arduino IDE.

Program działa w dosyć prosty sposób. Sekwencja działania systemu po uruchomieniu wygląda następująco:

1. Połącz z Internetem;
2. Uzyskaj aktualny czas;
3. Uzyskaj czas następnego przejścia ISS przez niebo w danej lokalizacji;
4. Oblicz czas do następnego przejazdu;
5. Nieskończona pętla:
  - uzyskaj aktualną lokalizację ISS,
  - oblicz kąt,
  - wskaź strzałką na ISS.

## Kalibracja

Kiedy urządzenie jest włączane po raz pierwszy, musi wiedzieć, gdzie wskazuje wskaźnik. W tej chwili proces ten zależy od operatora. Poniżej znajduje się procedura kalibracji układu mechanicznego:

1. Wyrównaj zerowy punkt odniesienia dla elewacji (w kierunku Ziemi wynosi zero);
2. Wyrównaj zerowy punkt odniesienia dla azymutu (po lewej stronie urządzenia);
3. Podnieś ramię elewacji do Gwiazdy Polarnej;

4. Po precyzyjnym ręcznym ustawieniu urządzenia jest ono wyrównane północą. Pierwotnie kopuła urządzenia miała mieć wbudowany kompas, ułatwiający jego ustawienie w terenie, jednakże igła magnetyczna znajduje się zbyt blisko silników, aby precyzyjnie wskazywać północ. Dlatego też autor zdecydował się polegać na nawigacji za pomocą Gwiazdy Polarnej. Jeśli Gwiazda Polarna nie jest widoczna na niebie z powodu zachmurzenia, prawdopodobnie i tak nie jest to dobra noc, aby zobaczyć przelatującą ISS.

Nikodem Czechowski, EP

Źródło: <http://bit.ly/3ck527a>