

HAMAV

High Altitude Micro Air Vehicle

Dron Stratosferyczny

Jan Struziński, koordynator modułu inżynierskiego, 3SAT

Mateusz Mazurkiewicz, lider zespołu, 3SAT

Łukasz Gałeczki, technik od druku 3D, 3SAT

Abstrakt

Próby stratosferyczne mają ogromne znaczenie dla świata nauki, jak i dla nas. Eksperymenty tam przeprowadzane poszerzają naszą wiedzę z zakresu np. astrobiologii lub atmosfery. Jednakże, w trakcie wysyłania ładunku naukowego do stratosfery za pomocą balonu, jest on zwiewany na duże odległości. Znalezienie i odzyskanie takiego ładunku wiąże się zatem z licznymi i trudnymi problemami. Zidentyfikowaliśmy ten problem, a następnie stworzyliśmy listę wymagań systemu, który mógłby go wyeliminować. Zgodnie z tymi wymaganiami, założyliśmy projekt badawczo-rozwojowy i zaprojektowaliśmy platformę HAMAV pozwalającą na transport ładunku badawczego na miejsce startu balonu. Na podstawie projektu, zbudowaliśmy prototyp Ikar, który został poddany rygorystycznym testom eksperymentalnym, podczas których jako pierwszy na świecie dron klasy micro wrócił lotem autonomicznym z ładunkiem badawczym z dolnej granicy stratosfery na miejsce startu. W trakcie testów, prototyp zaliczył 6 z 7 wymagań postawionych na początku projektu. Uzyskane dane i doświadczenie pozwoliły nam na zasugerowanie dalszej ścieżki rozwoju drona, która będzie realizowana w celu osiągnięcia pułapu 30km.



Zdjęcie 1- Dwóch z trzech konstruktorów HAMAV'a razem z osobami wspierającymi jego budowę

Spis treści

HAMAV.....	1
Abstrakt.....	2
Definicja problemu	5
Zakres problemu	5
Przegląd techniczny.....	5
Kryteria rozwiązania.....	6
Opis projektu	6
Przegląd.....	6
Szczegółowy opis	7
Elektronika.....	7
Źródła zasilania.....	7
Kontroler lotu z akcesoriami	8
System podgrzewania.....	8
Moduły komunikacji	8
Oprogramowanie	8
Oprogramowanie kontrolera lotu	8
Pętla kontrolna systemu grzewczego	8
Mechanika	9
Rama.....	9
System napędowy	9
System lotek.....	9
System zwalniający.....	10
Mocowanie ładunku badawczego.....	11
Dokładny schemat.....	11
Procedura	12
Ewaluacja.....	12
Testy.....	12
Prototyp.....	14
Testowanie i wyniki.....	14
Lot do stratosfery	14
Ładunek badawczy	15
Powrót na miejsce startu.....	15
Lot autonomiczny.....	16
Komunikacja z dronem	16
Failsafe.....	16

Poziom zużycia baterii	16
Ocena prototypu	17
Kolejne kroki	17
Podziękowania.....	18
Bibliografia	19

Definicja problemu

Zakres problemu

Problemy, który jako zespół inżynierski zespołu 3-SAT postanowiliśmy rozwiązać, to zwiewanie ładunków eksperymentalnych wynoszonych do stratosfery, co wiąże się z przebyciem dużych odległości w celu ich odzyskania, oraz ich niekontrolowane lądowanie, które wiąże się z podwyższonym ryzykiem.

Przegląd techniczny

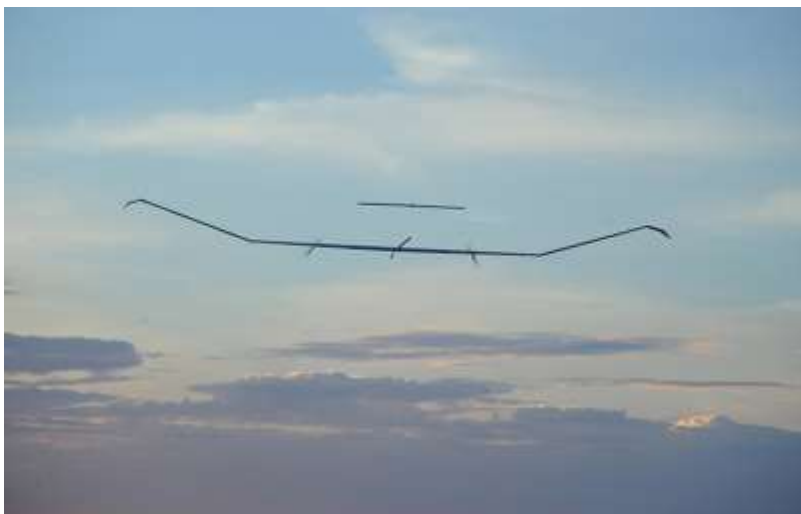
Aktualna metoda wynoszenia do stratosfery ładunków naukowych, przyrządów badawczych, czy jak w naszym przypadku, materiału biologicznego, to proste sondy stratosferyczne. Składają się z reguły z komputera pokładowego posiadającego GPS i nadajnik radiowy i kapsuły zawierającej eksperyment. Sondy te są wynoszone do stratosfery za pomocą balonów meteorologicznych.

Proste sondy stratosferyczne mają wiele wad, ale największą jest zdecydowanie brak sterowalności. Sonda nie odcepie się od balonu na określonej wysokości, zaczyna spadać dopiero kiedy balon pęknie. W wyniku znoszenia balonu stratosferycznego – i później spadochronu - przez wiatr, sonda ląduje nawet do 100km od miejsca startu w miejscu bliżej nie określonym. Trzeba ją śledzić podczas lotu, i dojechać do miejsca jej spadku. Ląduje często w miejscach trudno dostępnych, np. na drzewach albo na terenie prywatnym, zaś jej odzyskanie stanowi kłopot. Ładunek może ulec zniszczeniu, lub zostać ukradziony przez osoby trzecie.

Istnieją oczywiście inne, bardziej zaawansowane rozwiązania, jednak są niedostępne dla 'zwykłych ludzi'. Korzystają z nich głównie agencje kosmiczne, duże korporacje lub wojsko. Takimi rozwiązaniami są np. NASA Global Hawk lub Zephyr firmy Airbus.

Zephyr¹ to zasilany panelami słonecznymi dron stratosferyczny. Występuje w dwóch wersjach, S i T o rozpiętości skrzydeł 25 lub 33 metry i wadze 75 lub 140kg. Startuje z ziemi, jest rzucony przez zespół ludzi. Do stratosfery dolatuje dzięki dwóm silnikom elektrycznym i pozostaje w niej przez długie okresy czasu, pobierając energię na dalszy lot panelami fotowoltaicznymi.

Global HAWK to wojskowy samolot obserwacyjny z możliwością lotu ponad 24 godziny na wysokości prawie 20km. Od 2010 są wykorzystywane w NASA² w celach prowadzenia eksperymentów w wyższych warstwach atmosfery.



Zdjęcie 2 - Zephyr podczas startu | Pobrane z: <https://www.airbus.com/search.image.html?tags=products-and-solutions%3AUnmanned-air-systems%2Fzephyr&tagLogicChoice=OR#searchresult-image-all-10>

¹ <https://www.airbus.com/defence/uav/zephyr.html>

² <https://www.nasa.gov/centers/armstrong/news/FactSheets/FS-098-DFRC.html>

Kryteria rozwiązania

Postanowiliśmy zbudować platformę do transportowania ładunków eksperymentalnych z i do stratosfery. Żeby nasze rozwiązanie było znacznie lepsze niż tradycyjne sondy, musi spełnić listę kryteriów:

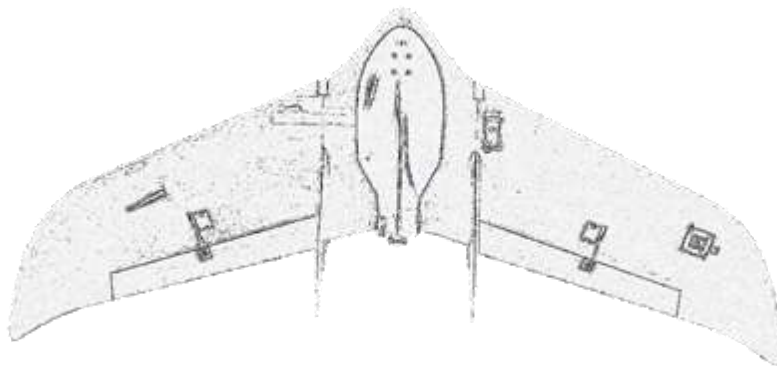
1. Lot do stratosfery na wysokość większą od 9 m AGL³
2. Powrót na odległość mniejszą niż 300m od miejsca startu
3. Możliwość wyniesienia 200 cm³ ładunku eksperymentalnego
4. Lot autonomiczny
5. Dobra komunikacja radiowa z liczbą odebranych ramek na minimalnym poziomie 40%.
6. Failsafe
7. Rozładowanie baterii > 80%

Nasza platforma musi być w stanie dostać się do stratosfery, mając możliwość zamontowania przyzwoitego ładunku badawczego, którego objętość oceniamy na ok. 200 cm³. Żeby uniknąć problemów poszukiwań na trudnym terenie oraz niekontrolowanego lądowania, powinna wrócić na maksymalnie 300 m od miejsce startu. Chcemy, żeby była autonomiczna, co ułatwi jej użytkowanie. Komunikacja z platformą musi być dobra z ilością odbieranych ramek⁴ na poziomie ok 40%, w celu zapewnienia pełnej kontroli. Rozładowanie baterii nie może przekroczyć 80% ze względów bezpieczeństwa. Platforma musi również być wyposażona w system zabezpieczający, gdyby coś nie poszło według planu.

Opis projektu

Przegląd

Naszą odpowiedzią na wcześniej przedstawione problemy jest HAMAV – projekt autonomicznego drona stratosferycznego.



Zdjęcie 3 - szkic HAMAV'a

HAMAV to dron, który może zostać podczepiony pod balon stratosferyczny i na określonej wysokości odczepić się od niego w celu rozpoczęcia autonomicznego lotu w stronę miejsca startu. Na pokładzie pod skrzydłami znajdują się luki przeznaczone na wynoszenie do stratosfery eksperymentów. Pozwalają na zamontowanie do 200 cm³. W celu zaprezentowania funkcjonalności drona postanowiliśmy, że zostanie tam umieszczonych co najmniej 20g ładunku biologicznego.

W ogrzewanym elektrycznie kadłubie HAMAV'a znajduje się kontroler lotu, odpowiedzialny za wszystkie funkcje automatyczne drona.

³ Nad poziomem ziemi

⁴ Ramka – zbiór informacji przesyłanych drogą radiową

Do komunikacji z dronem użyliśmy 3 linków radiowych, jednego do przesyłania danych z telemetrii, drugiego do przesyłania obrazu z kamery, a trzeciego do sterowania dronem przy pomocy pilota podczas jego lądowania.

Gdy HAMAV zostanie wyniesiony na ustaloną wysokość przez balon stratosferyczny, wyślemy mu ze stacji naziemnej komendę wyczepienia się ze specjalnego zaprzęgu łączącego go z balonem. W przypadku awarii linku radiowego IKAR wyczepia się samoczynnie. Gdy zaczep zostanie już zwolniony, dron przechodzi do lotu szybowego i korzystając z wbudowanego odbiornika GPS kieruje się w stronę stacji naziemnej – miejsca startu. Jeżeli lot szybowy okaże się niewystarczający do osiągnięcia docelowego miejsca lądowania, uruchamia się silnik zasilany jest dużym pakietem ogniw litowo-jonowych. Oprócz głównego pakietu znajduje się w kadłubie również bateria zapasowa, która zasila tylko systemy niezbędne do lotu szybowego.

Szczegółowy opis

Poniższy schemat pokazuje rozkład wszystkich komponentów w projekcie.



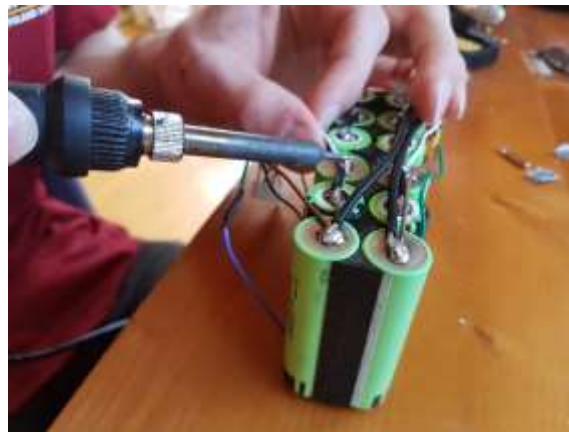
Schemat blokowy 1 - podsystemy

Wszystkie komponenty projektu można podporządkować pod trzy kategorie: elektronika, oprogramowanie i mechanika.

Elektronika

Źródła zasilania

Projekt posiada dwa źródła zasilania. Pierwszym z nich jest główny akumulator, zlutowany z ogniw Li-Ion Panasonic NCR18650B (3400mAh), w konfiguracji 6S2P⁵. Główny akumulator zasila kontroler lotu z akcesoriami, system podgrzewania i system napędowy. Mniejszy akumulator będzie zlutowany z tych samych ogniw w konfiguracji 3S. Mniejszy akumulator zasila moduły komunikacji, system lotek, system zwalniający, oraz w przypadku awarii głównej baterii – zwarcia lub wyładowania – również kontroler lotu z akcesoriami. Zwiększa to niezawodność, gdyż dron zawsze będzie w stanie wylądować na ziemi, niezależnie od tego ile energii zużył układ napędowy. Co więcej, pozwala to na odfiltrowanie dużej części zakłóceń pochodzącej z systemu systemu napędowego



Zdjęcie 4 - lutowanie pakietu Li-Ion

⁵ 6 połączonych szeregowo par połączonych równolegle

Kontroler lotu z akcesoriami

Mózgiem projektu jest kontroler lotu, HKPilot 32, z czujnikiem poboru prądu oraz UBLOX NEO-M8N GPS. Kontroler lotu połączony jest z MinimOSD, które nanosi parametry lotu na przesyłany obraz wideo nagrywany kamerką RunCam Swift. Kontroler lotu pozwala dronowi na podejmowanie działań autonomicznych, takich jak aktywne stabilizowanie lotu czy powrót na miejsce startu.

System podgrzewania

System podgrzewania składa się z Aduino, przekaźnika, termostatu i maty grzewczej do lusterek samochodowych o mocy 12W. W momencie spadku temperatury poniżej 20°C, Arduino poprzez przekaźnik włącza matę grzewczą by ogrzać akumulatory i elektronikę, co pozwala zapobiec błędom w odczytach żyroskopu.



Zdjęcie 5 - system podgrzewania

Moduły komunikacji

Z dronem istnieją trzy sposoby komunikacji radiowej – RC, FPV, i telemetria. Pierwszy pozwala na bezpośrednie sterowanie dronem, drugi na przesyłanie obrazu wideo, zaś trzeci na przesyłanie parametrów lotu oraz wydawanie dronowi skomplikowanych poleceń. Zastosowanie trzech linków radiowych zwiększa niezawodność drona, gdyż w przypadku utraty jednego z nich nadal można nim sterować poprzez dwa pozostałe.

System RC składa się będzie z nadajnika eLeRes MAX (1W) podłączonego do anteny typu Moxon o zysku 5.5 dBi. Użyty odbiornik to eLeRes z anteną dipol 2.2 dBi. System pracuje na częstotliwości 435 MHz.

System FPV pracuje na częstotliwości 1.28 GHz. Nadajnik to LawMate 1W z anteną dipol o zysku 2.2 dBi. Użyty odbiornik to RX-1260CK z anteną biquad o zysku 11dBi.

Telemetria składa się będzie z dwóch transceiver'ów⁶ o mocy 1W, RDF868x. Na dronie dwa dipole o zysku 3dBi zostały użyte, zaś na stacji naziemnej użyliśmy anteny yagi, SY-910 z zyskiem 11.5dBi, oraz dipola o zysku 2.2dBi.

Oprogramowanie

Oprogramowanie kontrolera lotu

Oprogramowaniem kontrolera lotu jest program open-source, ArduPlane. Zbiera dane z różnych czujników, takich jak żyroskop, barometr, czy GPS, a następnie z ich pomocą wpływa na pracę silnika i lotek, gwarantując stabilny lot drona i umożliwiając wykonywanie funkcji autonomicznych.

Pętla kontrolna systemu grzewczego

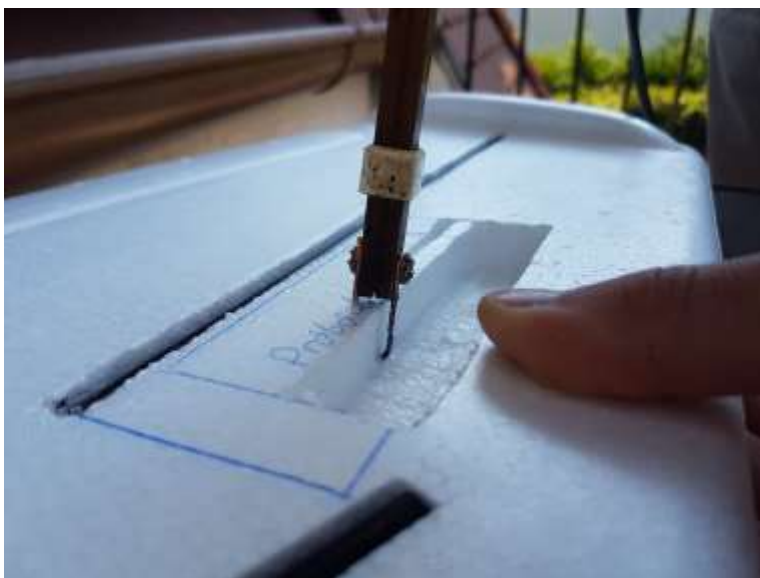
Oprogramowanie systemu grzewczego to zwykła pętla kontrolna. Kiedy temperatura jest powyżej 20°C system grzewczy pozostaje wyłączony, w momencie spadku temperatury poniżej 20°C system grzewczy się włącza.

⁶ modułów radiowych, które zarówno nadają i odbierają

Mechanika

Rama

Rama drona jest latającym skrzydełkiem, gdyż jest to najbardziej aerodynamiczny profil, gwarantujący największą efektywność lotu, ze względu na niskie opory powietrza. Pozwoli to na pokonywanie długich dystansów. Użyty model rama to FX-61. Została ona zmodyfikowana za pomocą wydruków 3D z PET-G, które będą mieścić elektronikę, ładunek badawczy, oraz inne systemy i podsystemy. Rama została wzmocniona dodatkowymi rurkami węglowymi oraz zalaminowana włóknem szklanym w celu usztywnienia konstrukcji. Zapobiega to uszkodzeniu rama w przypadku dużych przeciążeń obecnych podczas potencjalnego korkociągu ze stratosfery.



Zdjęcie 6 - proces modyfikacji rama

System napędowy

System napędowy składa się z silnika bezszczotkowego Quantum MT Series 4108 700KV oraz śmigła APC 10x10E, które pozwala na osiągnięcie dużej efektywności przy dużych prędkościach, a co za tym idzie na pokonywanie dużych dystansów. Silnik bezszczotkowy jest kontrolowany poprzez ESC (kontroler szybkości obrotów silnika), ZTW Spider Series 60A Opto.

System lotek

Lotki zostały dodatkowo wzmocnione poprzez zastosowanie plastikowych zawiasów, taśmy szklanej i PVC. Są sterowane przez cyfrowe serwomechanizmy Corona DS-918MP, z których smar został wymieniony na odmrażasz do zamków.



Zdjęcie 7 - testowanie serwomechanizmów z suchym lodem w zasymulowanej temperaturze stratosfery

System zwalniający

System zwalniający składa się z mechanizmu zwalniającego i wydruku stabilizującego. Mechanizmem zwalniającym jest cyfrowy serwomechanizm Corona DS-918MP, który po zadaniu komendy poprzez link RC lub telemetrię, odciąga orczyk, który uwalnia żyłki balonowe. Mechanizm zwalniający znajduje się na tyle drona, zaś linki biegną przez rurki węglowe na zewnątrz. Zadaniem wydruku stabilizującego jest zapobiegnięcie zaplątaniu linek w silnik i śmigło. Ochroni również śmigło przed napiętymi linkami, które mogą je połamać lub które mogą się przetrzeć. Odciąży on mechanizm zwalniający, co zmniejsza szansę jego zacięcia lub uszkodzenia.



Render 1 - mechanizm zwalniający



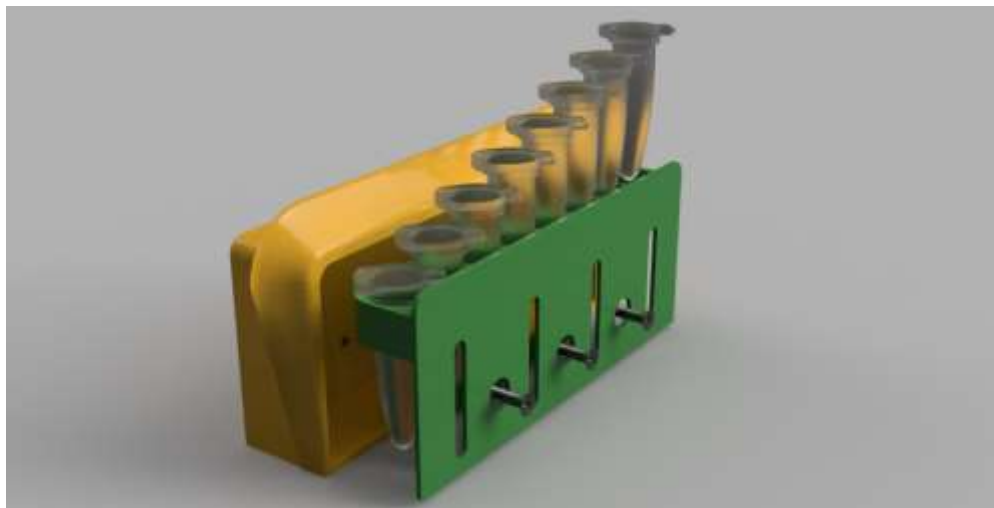
Render 2 - wydruk stabilizujący



Zdjęcie 8 - początkowa wersja HAMAV'a z założonym wydrukiem stabilizującym na ogonie

Mocowanie ładunku badawczego

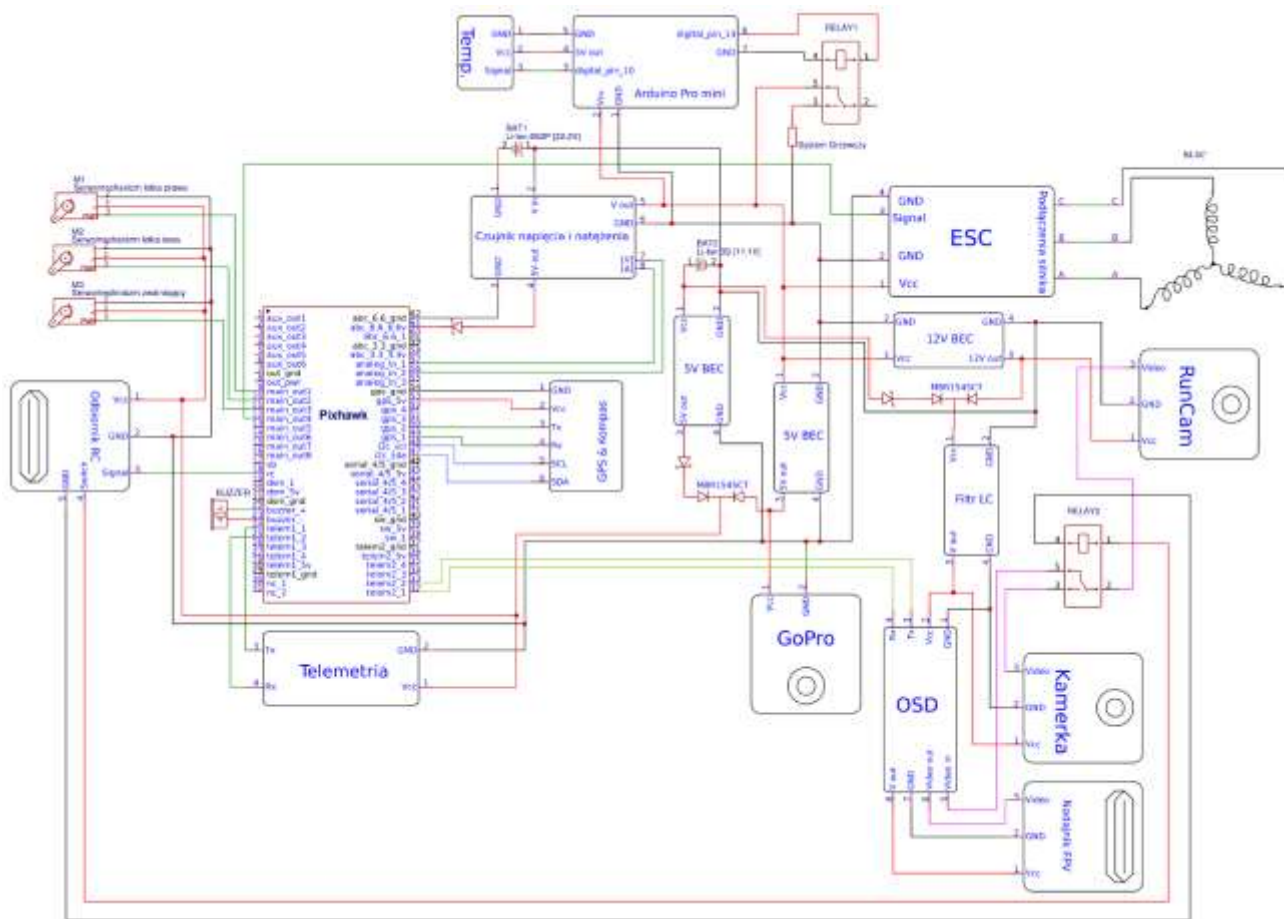
Mocowanie ładunki badawczego składa się z wydruków 3D umieszczonych pod skrzydłami ramy. Wydruki mają aerodynamiczną budowę, w celu ograniczenia oporów powietrza, oraz są w dużej części zamknięte, w celu zwiększenia poślizgu drona. Do każdego wydruku 3D wchodzi 100 cm³ ładunku badawczego.



Render 3 - mocowanie ładunku badawczego

Dokładny schemat

Poniższy schemat obwodu elektrycznego dokładnie pokazuje połączenie elementów elektronicznych i mechanicznych, obecnych w HAMA.V.



Procedura

Poniższa procedura pokazuje, jak przebiega operacja lotnicza z wykorzystaniem naszej platformy:

1. Rozstawienie stacji naziemnej.
2. Zamocowanie:
 - probówek
 - akumulatorów
 - śmigła
 - żyłek w mechanizmie zwalniającym
3. Podłączenie akumulatorów.
4. Sprawdzenie:
 - Wychylenia lotek za pomocą aparatury RC
 - Wychylenia lotek poprzez autopilota
 - Pracy silnika
 - Działania mechanizmu zwalniającego
 - Wszystkich połączeń
5. Zamknięcie pokrywy i zabezpieczenie jej taśmą.
6. Przeprowadzenie kalibracji czujników.
7. Uzbrojenie autopilota.
8. Mocowanie żyłek do nadmuchanego balonu.
9. Wypuszczenie balonu
10. Odczepienie drona na požądanej wysokości.
11. Załączenie autonomicznego powrotu do miejsca startu.
12. Przejęcie manualnej kontroli i lądowanie.

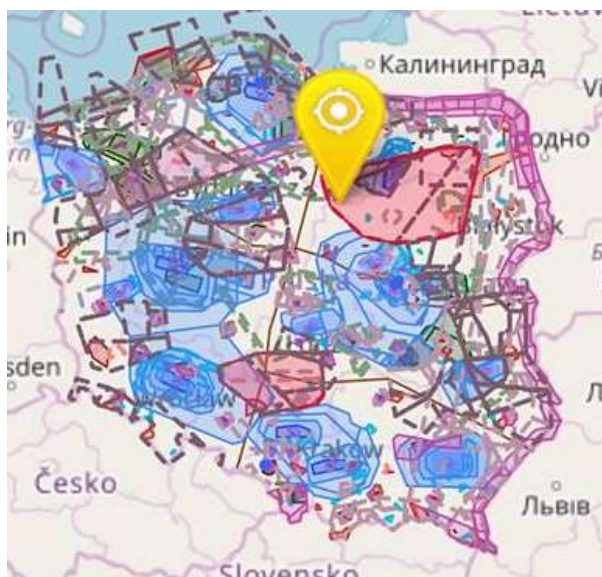
Ewaluacja

Testy

Projekt został przetestowany eksperymentalnie. Celem testów było zaliczenie wszystkich wymogów. Testowanie zostało podzielone na cztery fazy:

- I faza – lot VLOS na 750m AGL. Odbył się 16 czerwca 2018 roku z sukcesem. Dron wylądował 50m od miejsca startu balonu
- II faza – lot BVLOS na 6km AGL. Próba lotu podjęta 20 września 2018 roku bez powodzenia. Ze względu na ciężkie warunki atmosferyczny lot został odwołany.
- III faza – lot BVLOS na 11.5km AGL. Odbył się 20 października 2018 roku, zakończony powodzeniem. Dron wrócił ze stratosfery i wylądował 20m od miejsca startu
- IV faza – lot BVLOS na 30km AGL. Planowany na wiosnę 2019 roku.

W celu zachowania wszelkich zasad bezpieczeństwa testów, na potrzeby wyżej wymienionych lotów zostały uzyskane zezwolenia z Polskiej Agencji Żeglugi Powietrznej.



Zdjęcie 9 - strefa TSA, w której zrealizowano III fazę projektu

Poniżej przedstawiono wszystkie wymagania wobec Ikara podczas testów, i warunki ich spełnienia.

Tabela 1 - lista wymogów i warunków potrzebnych do ich spełnienia

Wymaganie:	Warunek:	Metoda sprawdzenia:
Lot do stratosfery	Wysokość > 9km AGL	Dane z GPS i barometru
Ładunek badawczy	<ol style="list-style-type: none"> Objętość komór z ładunkiem naukowym $\geq 200 \text{ cm}^3$, Ładunek naukowy $\geq 24 \text{ g}$ 	<ol style="list-style-type: none"> Fusion 360 Ilość próbek badawczych
Powrót na miejsce startu	Dystans od miejsca startu <300m	Dane z GPS
Lot autonomiczny	Tak	Dane z telemetrii
Komunikacja z dronem	RSSI ⁷ > 40% i obecność wizji	Dane z telemetrii i jakość przesłanego obrazu
Failsafe	Tak	Dane z telemetrii
Poziom zużycia baterii	<80%	Ilość mAh załadowanych do akumulatorów po locie

⁷ RSSI – ilość odebranych ramek

Prototyp

Prototyp został zbudowany w celu przeprowadzeniu testów projektu. Jego celem jest przejście wszystkich faz - I, II, III, i IV. Nazwa robocza ostatecznego prototypu to IKAR.



Zdjęcie 10 - IKAR

Ikar ma rozpiętość 155cm i wykonany jest z EPO. Wszystkie wydruki 3D zostały wykonane z PET-G. Całkowita waga to 2700g. Zużycie energii w spoczynku to 13W. Zużycie energii przy napędzie działającym na pełnej mocy to 350W. Maksymalna prędkość przelotowa to 20 m/s.

Prototyp jest w stanie polecieć na balonie do stratosfery i wrócić z niej na miejsce startu.

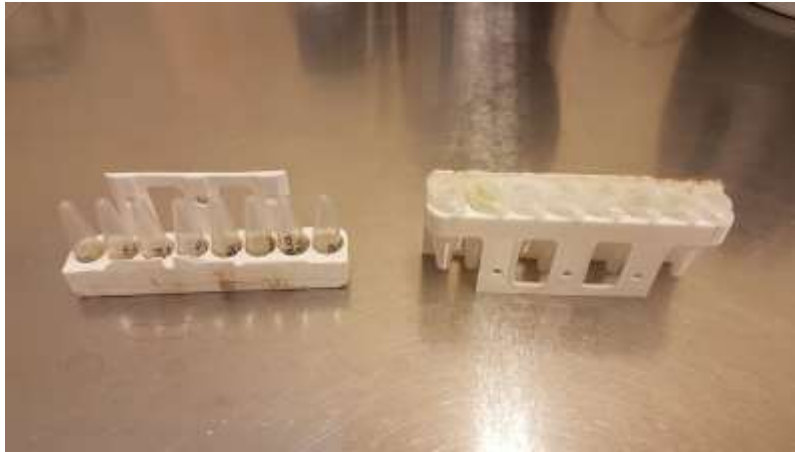
Testowanie i wyniki

Lot do stratosfery

Lot do stratosfery jest oczywiście koniecznym wymaganiem drona mającego wynosić do niej ładunki. Przyjęliśmy, że nasz projekt spełni te wymaganie jeśli balon go wyniesie na wysokość większą niż 9km, będącą dolną granicą tej warstwy atmosfery. Wysokość lotu została uzyskana dzięki pomiarom z GPS i barometru, widocznych na logach lotu i telemetrii. Podczas próby 20.11.2018 balon wyniósł drona na wysokość 11.550km. Różnica w odczytach barometru i GPS wynosiła 770m, gdyż wraz z wzrostem wysokości niepewność GPS rośnie ze względu niską wysokość satelit nad horyzontem. Niezależnie jednak od tego, które odczyty się weźmie, lot do stratosfery został zaliczony.

Ładunek badawczy

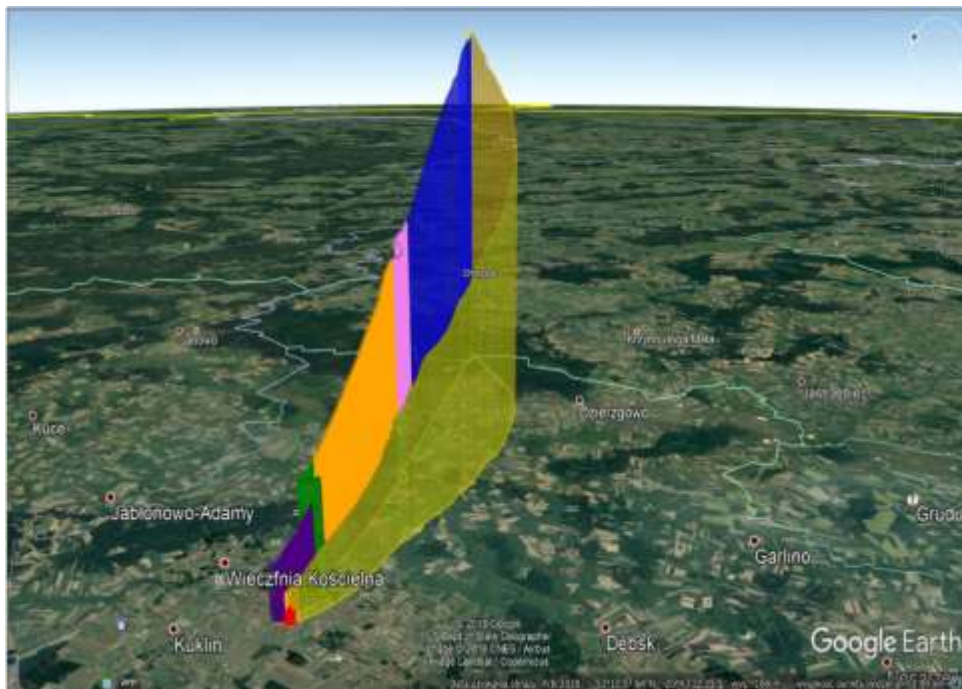
Żeby dron miał wartość naukową, musi mieć praktyczną funkcję, w tym przypadku jest to możliwość wynoszenia ładunków eksperymentalnych. Stwierdziliśmy, że objętość 200 cm³ jest wystarczająca do zamieszczenia interesujących eksperymentów. Według programu do projektowania 3D, Fusion360, objętość naszych luków badawczych to 212 cm³. Uznaliśmy również, że co najmniej 20 g materiału biologicznego wystarczy do zaprezentowania funkcjonalności naszego projektu. Nasz dron miał na pokładzie 16 probówek, każda z nich miała 1.5 materiału biologicznego, więc wyniósł do stratosfery 24g ładunku biologicznego. Dron spełnił oba warunki, więc jest w stanie dostarczać eksperymenty biologiczne, i nie tylko, do stratosfery.



Zdjęcie 11 - ładunek biologiczny po zdemontowaniu z Ikara

Powrót na miejsce startu

Powrót na miejsce startu jest bardzo ważną funkcją naszego drona, gdyż dzięki niej nie trzeba szukać ładunku na dużym, często trudnym terenie. Przyjęliśmy, że musi wrócić na dystans mniejszy od 300m, gdyż większa odległość może być równoznaczna z wylądowaniem w trudnym terenie. Po odłączeniu od balonu, dron lotem szybowym doleciał na miejsce startu i wylądował ok. 20m od bazy naziemnej. Dane zostały uzyskane z GPS. Dron wrócił na miejsce startu, więc wymóg został zaliczony



Symulacja 1 - lot drona

Lot autonomiczny

Lot autonomiczny jest ważnym wymaganiem, gdyż bez niego dron nie byłby w stanie wrócić na miejsce startu bez udziału pilota, a co za tym idzie znacząco została by ograniczona jego dostępność dla zwykłych ludzi. Co więcej, lot pół-autonomiczny stabilizuje drona w locie i jest znaczącym ułatwieniem dla pilota, co również zwiększa jego niezawodność. Lot autonomiczny był widoczny poprzez telemetrię. 20.1.2018 dron bez problemu poruszał się stabilnym lotem autonomicznym w kierunku miejsca startu, bez jakiegokolwiek udziału pilota, tak więc wymóg został spełniony.

Komunikacja z dronem

Komunikacja z dronem jest ważnym wymogiem, gdyż dzięki niej jesteśmy w stanie nim sterować oraz wiemy co się z nim dzieje w danej chwili. Co więcej, jest ona koniecznym wymogiem prawnym dla jakiegokolwiek lotu dronem. Jakość sygnału radiowego podczas lotu była mierzona poprzez RSSI – procentową ilość odebranych ramek z danymi. Dobry sygnał to ponad 40 % RSSI. RSSI podczas testów było szczytowane z telemetrii. Podczas lotu 20.10.2018 wielokrotnie RSSI linka RC schodziło poniżej 10 %. Telemetria została utracona raz na krótką chwilę, zaś FPV zostało utracone na wysokości ok. 4km. Wymagania stałej i dobrej jakościowo komunikacji z dronem nie zostały więc zachowane. Powodem było złe ustawienie nadajnika, który pracował na najniższej, nie najwyższej, mocy. Co więcej, dron cały czas się chybotał, co powodowało pogorszenie recepcji ze względu na nieodpowiednią polaryzację anten. Kolejnym powodem mogły być gęste i nisko zawieszony zachmurzenie na wysokości 2km AGL, które tłumilo i odbijało część fal radiowych. Innym wytłumaczeniem są anteny, który mogły być źle zestrojone, lubi mieć nieodpowiednia charakterystykę widma.



Zdjęcie 12 - stacje naziemna podczas realizacji fazy III

Failsafe

Failsafe jest bardzo ważnym wymogiem, gdyż wpływa na bezpieczeństwo lotu, niezawodność drona i bezpieczeństwo ładunku. W chwili utraty sygnału RC, dron odczeka 10 s (na wypadek chwilowej interferencji), następnie odłącza się od balonu i autonomicznie kieruje się w kierunku miejsca startu, dzięki czemu operacja nadal może zakończyć się sukcesem. Działanie failsafe można było zobaczyć poprzez telemetrię. W chwili w której RSSI wynosiło 0%, pojawiał się komunikat o podjęciu działania failsafe. Podczas samego lotu, gdy komunikacja RC również była tracona, failsafe się załączało, zaś dron kontynuował lot w kierunku miejsca startu. Te wymaganie jest zatem spełnione.

Poziom zużycia baterii

Odpowiedni poziom zużycia akumulatora to bardzo ważny wymóg dla drona. Przy zbyt dużym poziomie zużycia akumulator może ulec trwałemu uszkodzeniu. W najgorszym wypadku dron może spaść, gdy zabraknie mu energii. Poziom zużycia akumulatora nie może więc spaść poniżej 80%. Zużycie obu akumulatorów było mierzone poprzez ilość mAh, którą zostały naładowane. Główny akumulator stracił 1000mAh z 6800mAh, zaś mały stracił 1000 mAh z 3400mAh. Wytłumaczeniem tak niskiego zużycia baterii jest lot szybowy. Na wysokości 11.5 km dron miał wystarczająco dużo energii potencjalnej, by dzięki niej dotrzeć na miejsce startu. Wymóg poziomu zużycia akumulatorów poniżej 80% jest więc zaliczony.

Ocena prototypu

Dron spełnia 6 z 7 wymagań, jest w stanie polecieć do stratosfery z ładunkiem biologicznym, wrócić z niej na miejsce startu autonomicznym lotem, przy bardzo małym zużyciu energii, oraz przy zachowaniu wszelkich zasad bezpieczeństwa. Można więc przyjąć, że projekt się udał, zaś dron jest jego skutecznym prototypem, który jest w stanie pracować jako funkcjonalny produkt. Ma jednak jedną poważną wadę – brak stałej i dobrej komunikacji. By temu zaradzić, podczas kolejnego lotu upewnimy się, że nadajnik RC będzie pracował z pełną mocą. Dobierzemy również bardziej kierunkowe anteny dla stacji naziemnej i upewnimy się, że wszystkie anteny są dobrze zestrojone, zaś różne linki siebie nie zakłócają. Stacja naziemna będzie również wyposażona w „Antenna Tracker”, który będzie wcelowywał anteny w kierunku drona. Podczas lotu 20.11.2018 anteny były ustawiane na podstawie jakości odbieranego sygnału, co było bardzo trudne i nieskuteczne. Użyjemy również stacji odbiorczej FPV firmy PitLab, którą miał ze sobą operator naszego drona. 20 października miała ona charakter zastępczy i dawała sobie radę, podczas gdy nasza zawiodła.

Oprócz wyżej wymienionych problemów, MinimOSD nas zawiodło podczas lotu 20.11.2018. Najprawdopodobniej poprzez złe ustawienie drążków nadajnika RC weszliśmy w menu ustawień, którego nie byliśmy w stanie wyłączyć. OSD nie pokazywało żadnych parametrów. Kiedy użyliśmy zapasowego MinimOSD, nie działało w ogóle. Na minuty przed lotem musieliśmy zrezygnować z OSD, przez co – gdybyśmy stracili telemetrię – nie wiedzielibyśmy w jakim kierunku musimy lecieć, by trafić do bazy. Nasz dron musiałby w pełni polegać na autopilocie. Dlatego podczas kolejnego lotu, PitLab OSD zostanie użyte. Kolejnym problemem okazało się nieużycie wydruku stabilizującego drona. W rezultacie, oscylował bardzo szybko, co powodowało niezgodne polaryzacje anten (i utratę sygnału). Co więcej, nagłe oscylacje mogły spowodować połamanie śmigła, urwanie żyłki warsztatowej, lub uszkodzenie mechanizmu zwalniającego. To z kolei mogło spowodować niepowodzenie misji. Nic z tych rzeczy się nie wydarzyło, ale następnym razem wydruk stabilizujący zostanie użyty.

Problemy wymienione powyżej nie są nierozwiązywalne, zaś prototyp wykonał swoje zadanie. Dlatego, uznaję projektu za sukces.

Kolejne kroki

Kolejnym krokiem jest lot na 30km, który pozwoli materiałowi biologicznemu długo przebywać w warunkach stratosfery, co z kolei pozwala na przeprowadzanie bardziej wiarygodnych eksperymentów. W tym celu, komunikacja z dronem ulegnie poprawie. Po locie rekordowym, schematy i opisy dotyczące drona, razem z modelami wydruków 3D, zostaną udostępnione w internecie, tak by każda instytucja, firma, lub pasjonat stratosfery, mógł takie urządzenie zbudować w celu ułatwienia odzyskiwania jakiegokolwiek – nie tylko biologicznego – ładunku. Lot dronem pozwala również na przeprowadzenie dłuższych i bardziej skomplikowanych eksperymentów, ze względu na wydłużony pobyt w stratosferze. Systemy HAPS, High Altitude Pseudo Satellite, takie jak Stratobus mogłyby również zostać wyposażone w takie drony, by np. być w stanie wysyłać na bieżąco zakończone eksperymenty na ziemię. Dron mógłby zostać również wyposażony w aktywne ADS-B, które podawałoby jego pozycję innym pojazdom powietrznym, i ograniczyłoby szansę zderzenia z np. samolotem załogowym. Alternatywne wersje drona, mogłyby nie mieć układu napędowego, co pozwoliłoby na użycie baterii o mniejszej pojemności, napięciu i wydajności prądowej. Użyty pakiet mógłby się składać z dwóch ogniw Saft LSH20 połączonych szeregowo. Taka wersja drona byłaby tańsza, i mogłaby być używana podczas bezwietrznych warunków pogodowych. Dron lotem szybowym i tak trafiłby na miejsce startu, ale redukcja wagi – nawet do 800g - pozwoliłaby na zamieszczenie większego ładunku eksperymentalnego. Dron mógłby zostać również wyposażony w system LIDAR, który – np. w wyniku niskiego poziomu baterii – pozwoliłby mu lądować autonomicznie z dala od miejsca startu. Kolejną zmianą mogłoby być ograniczenie poboru prądu, poprzez użycie Pixhawk’a 2, który ma podgrzewany żyroskop, co pozwoliłoby na pozbycie się systemu ocieplania. Mniejszy pobór prądu pozwoliłby na dłuższe loty. Gdyby w Polsce zmieniło się prawo, można by się pozbyć wszystkich modułów radiowych. Moglibyśmy użyć dodatkowego mikrokontrolera, która rozkazałaby dronowi odzepić się od balonu na odpowiedniej wysokości, a następnie wrócić automatycznie na miejsce startu, albo inne, wcześniej wyznaczone miejsce. Brak modułów radiowych wiązałby się z mniejszym poborem prądu, a więc i dłuższym lotem, jak i ze zredukowaną wagą, która pozwoliłaby na zamieszczenie jeszcze większych ładunków. Sama rama mogłaby zostać wymieniona na FX-79, o większej rozpiętości skrzydeł, co wiązałoby się również ze zwiększonym udźwigniem.

Podziękowania

Podczas procesu budowy IKARa otrzymaliśmy bardzo duże i ważne wsparcie ze strony naszej szkoły, III Liceum Ogólnokształcącego w Gdyni. Projekt 3-SAT, choć z inicjatywy uczniów, powstał dzięki pomocy dyrektora szkoły, Wiesława Kosakowskiego, i wicedyrektor Agnieszki Orzeszek, którzy wyrazili pełne wsparcie i z dużą wyrozumiałością pomogli w pierwszych krokach, kontaktując nas z specjalistami w dziedzinie badań kosmosu i zachęcając nas do prac. Z ramienia szkoły pomogły nam również Anna Rzepa, zajmująca się zarządzaniem innowacją i pełniąca w projekcie 3-SAT rolę koordynatora, oraz Marta Mąkosa, nauczycielka fizyki. Ich zaangażowanie i umiejętności organizacyjne stanowią kręgosłup projektu 3-SAT. Warto też wspomnieć o Radzie Rodziców, która na początku projektu sfinansowała nasze pierwsze zakupy.

Prace nad ciekawymi rzeczami często wymagają wkładu finansowego. W naszym przypadku znaczny budżet jak na kieszeń licealisty wymagały koszty części drona, aparatury naziemnej i testowej, a także transport i niezbędne narzędzia. Dzięki wsparciu finansowym z strony naszego sponsora strategicznego, Jit Solutions, a także sponsorów Rotor i Variosteel, mogliśmy podjąć postawione sobie wyzwanie.

Mamy szczęście współpracować z firmą Pelixar, która nie tylko udostępniła nam w potrzebie swój warsztat i wspomogła w testowaniu drona, razem z konsultacją na temat jego budowy i procedur jego działania, ale też reprezentujący Pelixar Mariusz Pułas i Sebastian Nowicki odegrali kluczową część podczas prób. Mariusz Pułas, ze swoimi kwalifikacjami i doświadczeniem, podjął się roli naszego mentora naukowego oraz pilota Ikara, natomiast Sebastian Nowicki zajął się prawną i organizacyjną stroną, koordynując testy i załatwiając zgody na próby stratosferyczne od Polskiej Agencji Żeglugi Powietrznej.

Pierwszą fazą lotu IKARa jest wzniesienie się balonem na docelową wysokość. Proces ten wymaga swoich własnych procedur i organizacji niezbędnych elementów, jak hel czy sama powłoka balonu. Podczas pierwszej próby na wysokość 750 metrów zapewnił nam je Maciej Jakimiec z Copernicus Project. To on wprowadził nas do świata eksperymentów stratosferycznych, wyjaśniając ideę misji balonowych i wiążące się z nimi prawne wymogi. Poprowadził dla zespołu warsztaty, w których wytłumaczył te kwestie i był dostępny do konsultacji także poza nimi. Podczas drugiej z prób, która osiągnęła granicę stratosfery przy wysokości 11500 metrów, za organizację balonu odpowiadał Karol Pelzner z Politechniki Gdańskiej.

Dziękujemy też wszystkim innym, którzy w innych formach wspomogli nas w pracach. Tomasz Zawistowski z Creotech ciepłymi słowami i swoimi bogatymi doświadczeniami inspirował nas i motywował do podjęcia się projektu. Grzegorz Szychliński z Muzeum Historycznego Miasta Gdańsk wsparł nas konsultacjami na temat konstrukcji drona i jego testów. Adam Nawrot, reprezentujący fundację For Science, pomógł w temacie procesu klasyfikacji projektu jako badawczo rozwojowego. Jakub Zdroik z Uniwersytetu Gdańskiego udostępnił nam niezbędny sprzęt w budowie IKARa.

Bibliografia

RCExplorer. (2013). FPV to Space and back. Pobrane z: rcexplorer.se/projects/2013/03/fpv-to-space-and-back (11.01.2018).

RFDesign Pty Ltd. (2013). RFD900 Radio Modem Data Sheet.

4drones. Moduł nadajnika eLeReS. Pobrane z: 4drones.pl/?17,pl_odbiornik-eleres-rx (19.01.2018).

4drones. eLeReS Rx manual. Pobrane z: 4drones.pl/?20,pl_eleres-max (19.01.2018).

ArduPilot. (2016). ArduPlane. Pobrane z: ardupilot.org/plane (20.01.2018).

Trung Nguyen. (2014). Phantom FX-61 Flying Wing 114 km Flight. Pobrane z: diydrones.com/profiles/blogs/phantom-fx-61-flying-wing-110-km-flight (23.01.2018).

NASA. (2014). NASA Armstrong Fact Sheet: Global Hawk High-altitude, long-endurance science aircraft. Pobrane z: www.nasa.gov/centers/armstrong/news/FactSheets/FS-098-DFRC.html (26.01.2018)

Airbus. Zephyr. Pobrane z: www.airbus.com/defence/uav/zephyr.html (19.01.2018)