

Grant rektorski 2020÷2021

Dziś w relacji chcielibyśmy przedstawić projekt, który w ostatnich dwóch latach spowodował skokowy rozwój naszego zespołu, pozwolił nam poznać nowych ludzi i spróbować sił w nowych dziedzinach, dotychczas przez nas pomijanych lub ograniczanych ze względu na wcześniejszy brak umiejętności.

W ciągu ostatnich 13 lat główne siły rzucaliśmy zawsze na zawody SAE Aero Design. Pozwoliło nam to na uzyskanie wysokich kompetencji w dziedzinie projektowania i budowy bezpilotowych statków powietrznych zdalnie sterowanych. Ograniczenia zawodów powodowały, iż nie zajmowaliśmy się autonomią lotu. W 2017r. spróbowaliśmy sił w zawodach układów autonomicznych AUVSI SUAS, jednak z perspektywy czasu - nie byliśmy jeszcze wtedy gotowi na to wyzwanie.

Dzięki inicjatywie prof. Tomasza Łodygowskiego i współpracy zadzierzgniętej z dr Krzysztofem Walaśem przy okazji realizacji projektu AeroSfera na lotnisku Kąkolewo wiosną 2020 Akademicki Klub Lotniczy został współautorem koncepcji projektu „System autonomicznego powietrznego i naziemnego monitoringu lotniska”, który ostatecznie uzyskał finansowanie w ramach interdyscyplinarnego grantu rektorskiego. Pierwotnie projekt miał być zrealizowany w 2020r., jednak skutki pandemii spowodowały przedłużenie realizacji na rok 2021.

Opiekunami projektu zostali dr inż. Krzysztof Walaś (kierownik, WAIRE), dr inż. Marek Kraft (WAIRE) oraz dr inż. Radosław Górzeński (WIŚiE). Pierwotnie oznaczało to reprezentację trzech wydziałów, po reformie struktury wydziałów - dwóch. Bezpośrednimi wykonawcami byli studenci Politechniki Poznańskiej. Ze strony AKL w realizację projektu zaangażowani byli Jan Dominiak i Mateusz Podziński, a w pomagał ich także Kamil Dombek.

Celem badań prowadzonych w granicę było zbudowanie systemu składającego się z mobilnej jednostki latającej i współpracującego z nią naziemnego pojazdu autonomicznego. Patrolująca lotnisko z powietrza jednostka latająca miała za zadanie przy pomocy metod uczenia maszynowego wykryć obiekty



zagrażające bezpieczeństwu lotniska. Następnie koordynaty przedmiotu wykrytego przez jednostkę latającą miały być przekazane do jednostki naziemnej, która w sposób autonomiczny miała za zadanie dotrzeć do wskazanego celu i przy pomocy ramienia robotycznego złapać obiekt i wywieźć go do danego miejsca. Główny nacisk w badaniach prowadzących do zrealizowania opisanego scenariusza położony był na autonomię jednostek mobilnych (powietrznej i naziemnej) oraz wykorzystanie metod uczenia maszynowego do detekcji zagrożeń oraz percepcji otoczenia dla pojazdu naziemnego i jego sterowania.

Formalny odbiór projektu odbył się 7 września 2021r. w obecności pana Rektora Teofila Jesionowskiego, pana Prorektora Michała Wieczorowskiego i pana Prorektora Wojciecha Sumelki oraz opiekunów merytorycznych projektu.

Poniżej przedstawiamy główne założenia projektu autorstwa Mateusza Piechockiego, Bartosza Ptaka, Jana Dominiaka, Mateusza Podzińskiego, Krzysztofa Stężyły, Jakuba Muszyńskiego i Michała Bidzińskiego.

System monitoringu

System autonomicznego powietrznego i naziemnego monitoringu lotniska ma na celu zaprezentowanie potencjału Uczelni w zakresie tworzenia innowacyjnych, interdyscyplinarnych rozwiązań, możliwych do zastosowania w praktyce. Projekt składa się z autonomicznej platformy latającej monitorującej wskazany obszar, wyposażonej w system wizyjny. System ten wspierany jest uczeniem maszynowym i sztuczną inteligencją oraz jest zdolny wykryć i sklasyfikować wskazany obiekt, a następnie przekazać informację o jego położeniu do robota naziemnego, który uda się we wskazane miejsce celem weryfikacji zagrożenia.

Na potrzeby powierzonego zadania zaprojektowano i skonstruowano bezzałogowy statek powietrzny. Głównymi założeniami była jak najniższa masa własna, prostota budowy oraz szybkość przygotowania do lotu. Konstrukcję prototypu oparto o rurki węglowe, natomiast płyty wykonano ze styroduru

przygotowanego za pomocą maszyny numerycznej. Aby dodatkowo uprościć konstrukcję klasyczny kadłub zastąpiono zasobnikiem, w którym umieszczono całe niezbędne wyposażenie. Docelowo samolot może zostać wykonany w całości z włókna węglowego. Ze względu na swoją niską masę, samolot startuje po wyrzuceniu z ręki, lądowanie natomiast odbywa się na zasobniku. Napędzany jest silnikiem elektrycznym o mocy 650W. Składane śmigło polepsza doskonałość aerodynamiczną, co przekłada się na charakterystykę szybowania.



BSP podczas testów w locie



Oprogramowanie stacji naziemnej Mission Planner

Parametry techniczne:

- rozpiętość 2,2m,
- profil aerodynamiczny Wortmann FX-63,
- masa własna 1700g,
- masa maksymalna do startu 3200g,
- prędkość 12-15m/s,
- pojemność akumulatorów 10000mAh,
- długotrwałość lotu ponad 1h,
- zasięg 50km.



Moduł autonomii lotu oparty jest o kontroler lotu PixHawk 2 działającym z oprogramowaniem ArduPilot. Stacja naziemna korzysta ze środowiska Mission Planner. Łączność realizowana jest za pomocą telemetry pracującej na częstotliwości 870MHz.

Kontroler wykorzystuje wbudowany barometr, kompas, żyroskop oraz układ inercyjny do określenia pozycji samolotu. Dodatkowo jest on wspierany przez system GPS, rurkę Pitota i laserowy czujnik odległości. Posiadając dane z tych sensorów możliwe jest precyzyjne określenie położenia samolotu oraz utrzymywanie założonych parametrów lotu. Moduł autopilota umożliwia autonomiczny start, przelot po zaplanowanej trasie oraz lądowanie.



Element zbioru testowego

Do realizacji zadania wykorzystana została struktura systemu umożliwiająca detekcję i sklasyfikowanie obiektów, a następnie za pomocą triangulacji określenie współrzędnej geograficznej znacznika. Do zadania detekcji wykorzystany został zebrany zbiór danych rzeczywistych w postaci 528 zdjęć, które następnie zostały ręcznie adnotowane w środowisku Roboflow. Obiekty przyporządkowano do jednej z 11 dostępnych klas, odpowiadających kształtom figur geometrycznych. Następnie taki zbiór został podzielony na część treningową (370 zdjęć) oraz testową (158 zdjęć) i wykorzystany do wytrenowania detektora obiektów przy wykorzystaniu architektury YOLOv4 tiny 3l.

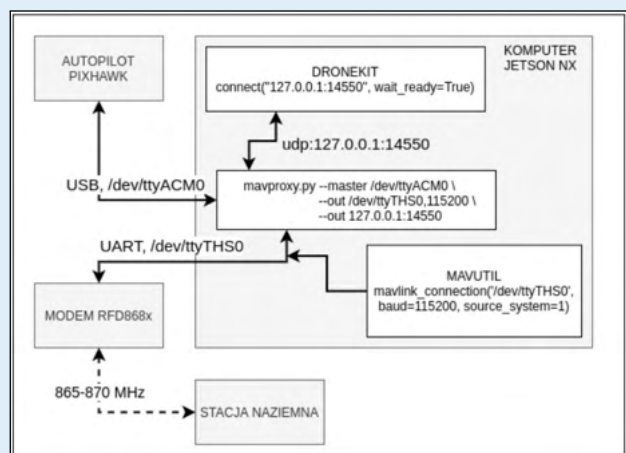
System wizyjny w sposób fizyczny został oparty o następujące urządzenia:

- minikomputer Nvidia Jetson Xavier NX,
- kamerę z globalną migawką oraz interfejsem komunikacji MIPI CSI 2,
- obiektyw o ogniskowej równej 16 mm oraz wąskim polu widzenia,
- gimbal FeiyuTech Mini 3D.



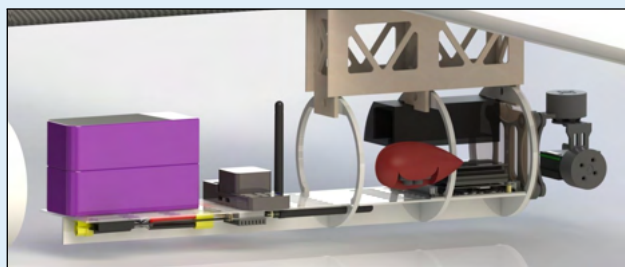
Przykładowe znaczniki

Po dokonaniu detekcji i klasyfikacji obiektu jednostka wnioskująca przesyła współrzędne za pomocą modułu telemetrii do stacji naziemnej. Są one wyświetlane w programie Mission Planner.



Schemat połączeniowy komunikacji systemu

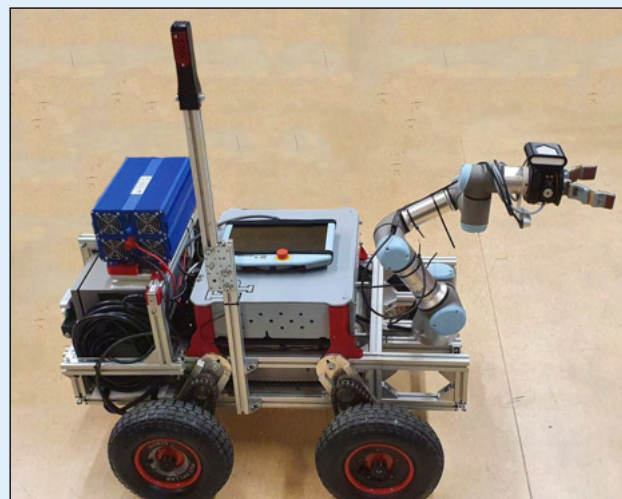
Wyposażenie znajduje się w zasobniku, który może być wymieniany i dostosowany do bieżącego zadania.



Wyposażenie BSP



Pojazd naziemny stanowiła mobilna platforma oparta na profilach aluminiowych, wyposażona w ramię robotyczne UR3E, komputer, własne sterowanie umożliwiające autonomiczną jazdę. Przy działaniu wszystkich sensorów i funkcjonalności zasięg wynosi 1h. Lidar 2D wykonując bieżące pomiary umożliwia omijanie przeszkód oraz planowanie ruchu. Dodatkowo jest wspierany przez kamerę lokalizacyjną na podstawie obrazu. Do nawigacji wykorzystywany jest również GPS oraz serwis OpenStreetMap, pozwalający na wybieranie najbardziej optymalnego terenu. Ramię wyposażone jest w miękki chwytak dwupłaczasty, adaptujący się do łapanego obiektu oraz dodatkową kamerę odpowiedzialną za detekcję obiektu przed robotem i ocenę jego pozycji względem robota.



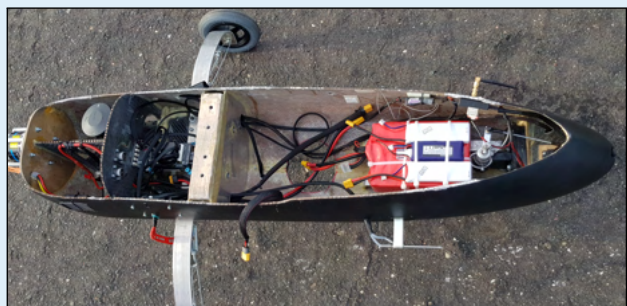
Autonomiczna platforma naziemna

Przedstawiony projekt miał stanowić pokaz możliwości i potencjału studentów Politechniki Poznańskiej w zakresie stworzenia i implementacji złożonego systemu w rzeczywistym środowisku. Dostosowując poszczególne elementy systemu może on zostać w przyszłości zaadaptowany do szeregu innych rozwiązań, na przykład misji SAR, mapowania terenu czy transportu towarów.

Wkład AKL

Wykonawcami projektu z ramienia AKL byli Jan Dominiak i Mateusz Podziński, a w pomagali im także Kamil Dombek. Zadania sprowadzały się do zaprojektowania i zbudowania platformy latającej, wypo-

sażenia jej w układ autonomii lotu i jego konfigurację, następnie oblatanie konstrukcji i wykonywanie lotów mających na celu zebranie jak największej liczby zdjęć jako wsadu do uczenia maszynowego. Linia styku pomiędzy kompetencjami AKL a studentami reprezentującymi Automatykę i Robotykę było połączenie autopilota zapewniającego autonomię lotu PixHawk (AKL) i mikrokomputera Jetson (WAIRe). Realizując projekt ściśle współpracowaliśmy z Mateuszem Piechockim i Bartkiem Ptakiem (obaj WAIRe), którzy są teraz razem z nami w Turcji w ramach projektu AKL realizowanego we wsparciu finansowym MEiN w oparciu o program „Najlepsi z Najlepszych”.



Kadłub samolotu - widoczna autonomia (PixHawk, GPS) oraz akumulatory (zasilanie)



Samolot w modelarni

Początkowo system oparliśmy o „węglolota”, czyli samolot wykonany przez nas na potrzeby zawodów AUUVSI SUAS 2017. Statek był zbudowany z wykorzystaniem metody podciśnieniowej, polegającej na przesączaniu tkaniny w odpowiednio do tego wykonanych formach. Kadłub samolotu był wykonany z włókna szklanego, a skrzydła z włókna węglowego wzmocnianego włóknem aramidowym w układzie plastra miodu. W powierzchniach nośnych zastoso-



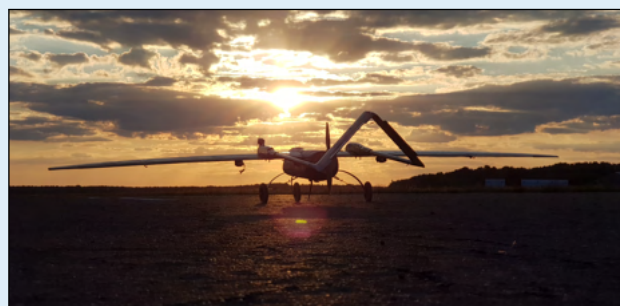
wano włóko węglowe, natomiast kadłub wykonano z włókna szklanego.



Samolot optycznie w locie prezentował się bardzo dobrze, a zastosowane włóko węglowe zapewniało mu profesjonalny wygląd.



W locie nad Kąkolewem



Zbudowany samolot był w układzie ze śmigłem pchającym oraz podwójną belką ogonową, ze skrzydłami o rozpiętości 4m i wydłużeniu wynoszącym 20. Do napędu użyto silnika elektrycznego o mocy ciągłej 2 kW. W połączeniu z baterią o pojemności 20000 mAh zapewniał on około 40 minut lotu. Dla poprawy bezpieczeństwa zastosowano podwójne zasilanie komputera oraz serwomechanizmów. Dodatkowo na pokładzie znalazł się komputer NVIDIA Jetson TX2 oraz kamera odpowiedzialne za rozpoznawanie obiektów znajdujących się na ziemi. Otrzymano w ten sposób bezzałogowy statek powietrzny o masie startowej 18 kg, prędkości przelotowej 22 m/s oraz doskonałości 25. Jest to jak do tej

pory największy i najcięższy statek zbudowany kiedykolwiek przez AKL.

Niestety część parametrów okazała się kłopotliwa w eksploatacji. Samolot charakteryzował się potężną rozpiętością, sporą masą własną i udźwigniem. Wynikało z tego szereg ograniczeń w stosowaniu samolotu: duże promienie wykonywania zakrętów, szybkość lotu, konieczność startu i lądowania z utwardzonej powierzchni.



Pierwotny układ usterzenia ogonowego

W okresie pomiędzy lutym i czerwcem 2020 po skompletowaniu wszystkich komponentów modułu autonomii lotu oraz pozostałej koniecznej elektroniki przystąpiono do zabudowania jej na istniejącym już płatowcu. Posiadając informacje na temat problemów jakie istniały w statku powietrznym wprowadzono modyfikacje mające na celu ograniczenie ich wpływu na właściwości lotne. Największą zmianą była zmiana usterzenia samolotu.

Ze względu na zbyt ciężki ogon samolotu zdecydowano się na zastąpienie istniejących płatów odwróconym usterzeniem motylkowym.



Samolot z usterzeniem motylkowym

Kolejną zmianą było wykonanie nowego podwozia dostosowanego do masy samolotu. Na potrzeby testów autopilota nie umieszczono w samolocie kamery oraz komputera rozpoznawania obrazu. Testy



w locie odbywały się na lotnisku Aeroklubu Poznańskiego i Centrum Kształcenia Lotniczego Politechniki Poznańskiej w Kąkolewie. Przeprowadzono 12 testów w locie. Pierwsze z nich wykazały problem ze statecznością podłużną samolotu, którą skompensowano stałym wychyleniem powierzchni sterowych. Po usunięciu tego problemu uzyskano pożądaną stabilność lotu.

W dalszej kolejności przeprowadzono testy stabilizacji lotu oraz lotu autonomicznego po zaplanowanej trasie, co pozwoliło stwierdzić pełną funkcjonalność modułu autonomii lotu. Testy wykazały, że samolot jest zdolny do samodzielnego startu, lądowania oraz lotu po zaplanowanej trasie.



Widok z kamery umieszczonej na usterzeniu ogonowym

Wskazano problematyczne obszary funkcjonowania posiadanego samolotu. Należały do nich:

- masa własna samolotu wynosząca 14 kg, po umieszczeniu koniecznego wyposażenia, masa startowa wynosiła 16 kg, głównie za sprawą dużej i ciężkiej baterii, potrzebnej do zasilenia silnika,
- pomimo zastosowania baterii o pojemności 10000 mAh i zmniejszeniu masy całego samolotu czas lotu wynosił 20-25 min.; możliwe było zastosowanie spalinowej jednostki napędowej, jednak jej obsługa jest nieporównywalnie bardziej skomplikowana,
- konieczność operowania z utwardzonego pasa startowego o długości co najmniej 200m,
- prędkość przelotowa wynosząca 22 m/s potencjalnie mogła stwarzać problemy z rozpoznawaniem obrazu,
- obecność co najmniej dwóch osób (optymalnie 3) przy montażu samolotu.



Zlokalizowanie elektroniki w zamkniętym kadłubie skutkowało często wzrostem temperatury szkockiej wyposażeniu. Wykonane otwory wentylacyjne zapewniały poprawne chłodzenie w locie, jednak nie były wystarczające na ziemi. Planowane dosprzętowanie w wentylatory nie doszło do skutku.

Ostatni lot wykonaliśmy 18 lipca 2020r. Nadarzyła się wtedy okazja do zaprezentowaniu go szerszemu gronu, w tym władzom Politechniki. Lot obserwowali także przedstawiciele PCS. I jak to zwykle bywa, w doniosłej atmosferze i w obecności VIP'ów zawsze musi wydarzyć się jakaś draka. No i wydarzyła się.



Moment przed uderzeniem o drzewa

Lot od początku wykonywany był autonomicznie, a PoDzik dumnie prezentował ręce w górze (z dala od aparatury, co oznacza lot w pełni autonomiczny). Niestety na boku z wiatrem samolot zaczął „myszkować” przy czym wysokość lotu była zdecydowanie niższa od zadanej. Samolot wykonał dalszą część kręgu prezentując się w low-pass'ie (niskim przełocie) nad zgromadzonymi widzami. Niestety drugi



krąg był jego ostatnim. Wysokość drzew z odległości 200 m trudno jest jednocześnie ocenić. PoDzik do końca zwlekał z interwencją zakładając, że mamy bezpieczny margines nad drzewami. Nie mieliśmy. Głośny trzask łamanego włókna węglowego obwieścił nam koniec lotu. Szczęśliwie obyło się bez pożaru. Całowitemu zniszczeniu uległo usterzenie oraz belki ogonowe, pękł dźwigar, kadłub oraz krawędzie natarcia skrzydeł.

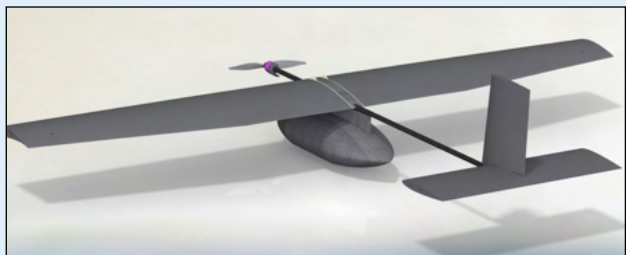


Wypadek samolotu spowodowany wysoką temperaturą wewnątrz kadłuba, a przez to nieprawidłowym wskazaniem barometru odpowiedzialnego za dostarczenie kontrolerowi lotu informacji na temat wysokości samolotu. W efekcie tego komputer uznawał, że samolot znajduje się wyżej niż miało to miejsce w rzeczywistości, co poskutkowało zahaczeniem skrzydłem o drzewa i upadkiem. Odczytów z barometru wraz z porównaniem wysokości z modułu GPS przedstawiono na rysunku. Ze względu na dokładność wskazań podczas lotu wykorzystywany jest barometr. Na wykresie widać, jak zmieniał się odczyt wysokości, nawet po tym jak samolot znalazł się na ziemi.



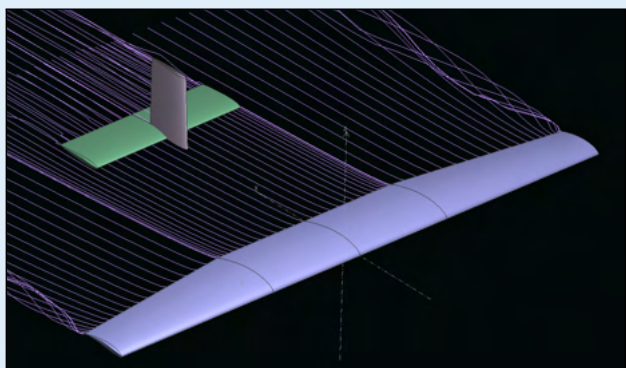
Pomiar wysokości wg barometru i GPS

Konsekwencją wypadku była decyzja o zaprojektowaniu i wybudowaniu samolotu dedykowanego do potrzeb realizacji grantu. Jan Dominiak zaprojektował statek wykonujący start z ręki (bez wymogu podwozia i utwardzonego terenu), lądujący „na brzuchu”, o mniejszej rozpiętości (ułatwienia transportowe, mniejsze promienie zakrętów) i wadze. Za główny cel postawiono zmniejszenie rozmiarów oraz masy własnej konstrukcji, co pozwoliłoby na wydłużenie czasu lotu oraz eliminację konieczności operowania ze specjalnie przygotowanego pasa startowego, poprzez możliwość wyrzucenia samolotu z ręki oraz lądowania w każdym terenie. Aby uprościć konstrukcję założono, że kadłub stanowić będzie rurka karbonowa, a wyposażenie umieszczone zostanie w zasobniku umiejscowionym pod kadłubem, jednocześnie dając możliwość dopasowania jego wymiarów względem wymaganego wyposażenia do wykonania powierzonej misji, jak i umieszczenia środka ciężkości samolotu pod skrzydłem czyniąc go stabilnym w locie.



Wizualizacja projektu

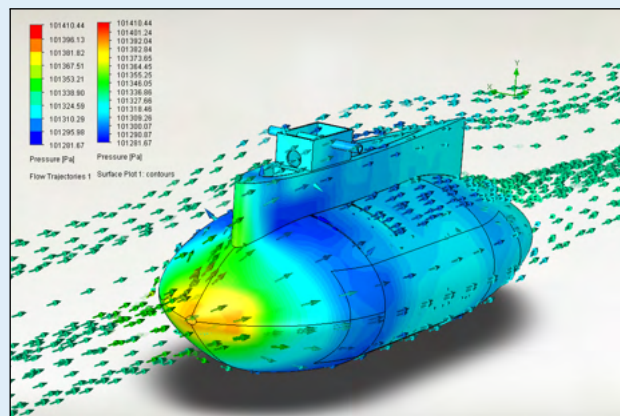
Wykonano analizę aerodynamiczną w programie XFLR5, w którym dobrano profil aerodynamiczny skrzydła oraz określono jego wymiary i obrys.



Wizualizacja analizy w programie XFLR5

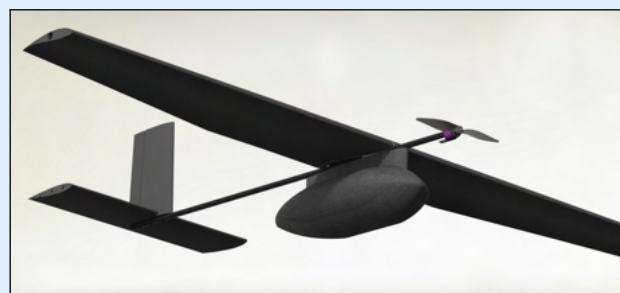


Wskazane było również zmniejszenie prędkości przelotowej. Do konfiguracji dodano usterzenie ogonowe, celem sprawdzenia stabilności samolotu. W dalszej kolejności przeprowadzono analizę przepływową dla zasobnika na wyposażenie. Zoptymalizowano go pod kątem stawianego oporu aerodynamicznego.



Analiza aerodynamiczna zasobnika

Ze względu na niewielką planowaną masę płatowca (około 1kg) uzasadnione było wykonanie powierzchni nośnych w technologii polegającej na laminowaniu metodą próżniową odpowiednio wyciętych kształtek wykonanych ze styroduru. Zatem kolejnym etapem było wykonanie projektów brył skrzydeł, usterzenia oraz zasobnika w taki sposób, aby możliwe było ich wycięcie. W ten sposób możliwe jest uzyskanie niezwykle lekkiej i wytrzymałej struktury.



Wizualizacja projektu

Zastosowanie silnika o mocy 650W w połączeniu z baterią o pojemności 6000mAh zapewnia ok. 50 minut lotu. Istnieje możliwość zabrania na pokład 4 takich pakietów. Co więcej na etapie planowa-

nia misji, możliwe jest poprowadzenie jej w taki sposób, aby podczas lotu po ścieżce poszukiwania na danym obszarze, samolot naprzemiennie nabierał wysokości podczas lotu pod wiatr, a następnie, po wykonaniu nawrotu szybował z wiatrem. Dzięki zastosowaniu składanego śmigła zniwelowano jego opór podczas lotu swobodnego znacząco wydłużając czas przebywania w powietrzu. Niewielka masa konstrukcji jest ważnym atrybutem konstrukcji pod względem zdolności szybowania.



Oblot w dniu 19 grudnia 2020r.

Dzięki zmniejszonym rozmiarom oraz zastosowaniu odpowiedniej technologii nowa konstrukcja będzie charakteryzowała się znacznie zmniejszoną masą startową wynoszącą około 3kg, w połączeniu ze skrzydłem o rozpiętości 2,2m przedkłada się to na prędkość przelotową wynoszącą 11m/s co stanowi znaczącą poprawę względem poprzedniego samolotu. Znaczące wydłużenie długotrwałości również jest pożądaną zmianą, która bezpośrednio wpłynie na wykonywanie misji. Możliwość startu i lądowania z dowolnego obszaru o odpowiedniej przestrzeni pozytywnie wpływa na możliwości zastosowania platformy latającej.



Samolot odbył swój dziewiczy lot 19 grudnia 2020r. Uproszczeniu, ze względów technologicznych, uległa konstrukcja zasobnika kadłubowego.

Elektronika zamontowana jest w zasobniku kadłubowym wykonanym z rury wentylacyjnej PVC, dziób powstał na drukarce 3D. Śmigło ma składane w locie łopaty. Kamera na gimbale zamontowana jest z tyłu kadłuba.



Belka kadłubowa wykonana jest z rurki węglowej, a usterzenie ogonowe jest w układzie klasycznym.

Konstrukcja okazała się bardzo udana. Od połowy kwietnia do dnia dzisiejszego wykonaliśmy już ponad 12 godz. lotu odnotowując w międzyczasie tylko kilka małych epizodów, które jednak nie dyskwalifikowały statku z dalszej eksploatacji.



Usterzenie w układzie klasycznym

Możliwość wykonywania zdjęć z pokładu dronów w dużej rozdzielczości pomaga nam obecnie w wykonywaniu całkiem fajnej dokumentacji zdjęciowej w locie - choć czasami separacja między statkami w powietrzu, a właściwie jej brak, zwiększa tętno obu operatorom.



Oblot na Kobylnicy



W locie nad Kąkolewem



W locie nad Kąkolewem

W ramach dodatkowych zadań z użyciem samolotu wykonano m.in. loty nad lotniskiem Bednary w celu stworzenia cyfrowej mapy terenu (ok. 250 ha, 2 godz. lotu).

7000
ft

6000

5000

4000

3000

2000

1000

0



W locie nad Kąkolewem



Aktualnie samolot jest wykorzystywany w ramach zawodów Teknofest. Następnie wnioski z jego eksploatacji zostaną wykorzystane do skonstruowania i budowy samolotu VTOL, który będziemy budować w projekcie „Studenckie koła naukowe tworzą innowacje”, którego realizacja jest planowana na lata 2021÷2022.



W locie nad Bednarami



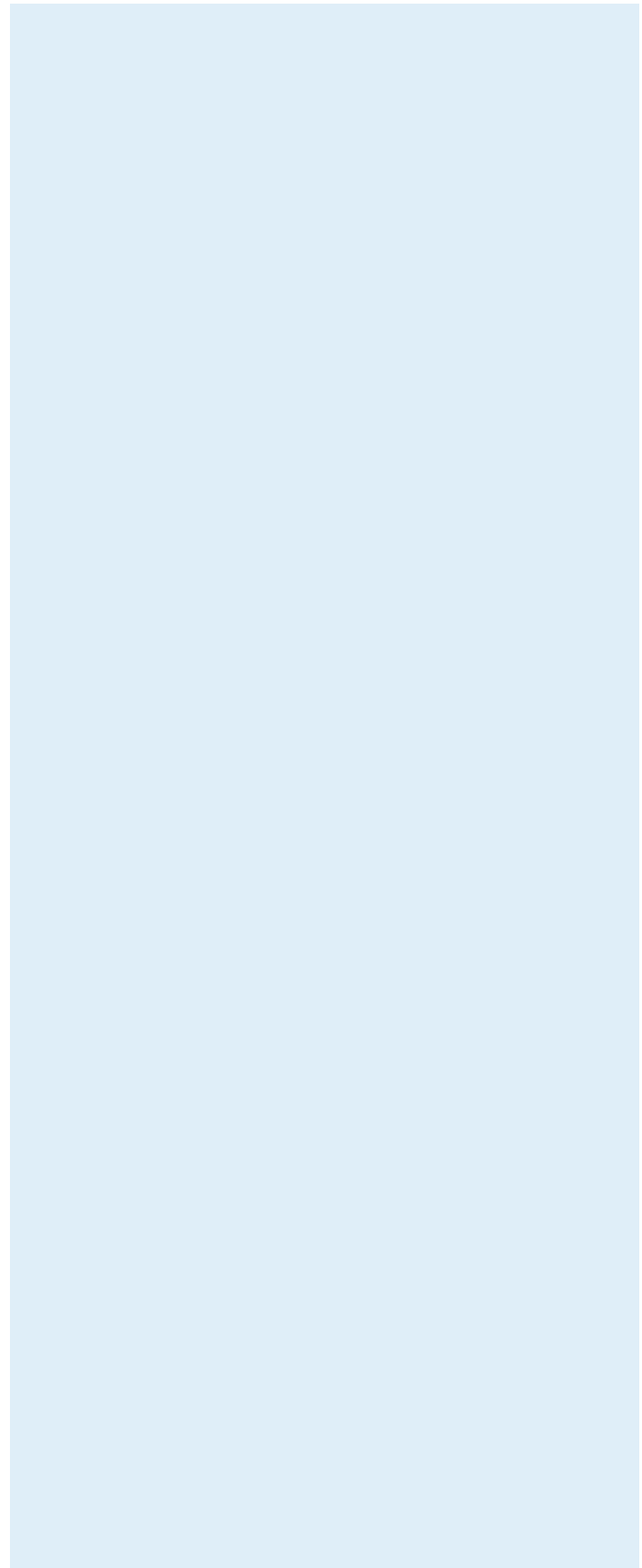
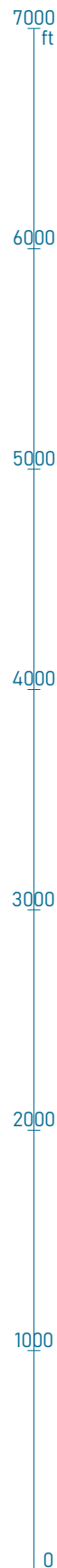
W locie nad Bednarami



W locie nad Bednarami



W locie nad Bednarami



Projekt „Udział reprezentacji Politechniki Poznańskiej w akademickich zawodach konstruktorów lotniczych SAE Aero Design USA 2021, SAE Aero Design Brasil 2021 i Teknofest Technology” jest realizowany w ramach projektu pozakonkursowego o charakterze koncepcyjnym pt. „Najlepsi z Najlepszych! 4.0” w ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego.