
**XXV Seminarium
NIENISZCZĄCE BADANIA MATERIAŁÓW
Zakopane, 20-22 marca 2019**

DRON DO POMIARÓW GRUBOŚCI – PROBLEMY PODCZAS KONSTRUKCJI

Stefan Szypulski

Gdynia

stefanszypulski@gmail.com

1. WSTĘP

Opracowanie to jest uzupełnieniem referatu wygłoszonego dwa lata temu podczas XXIII Seminarium „Nieniszczące badania materiałów” - „Zautomatyzowane pomiary grubości na statkach” w którym przedstawiono robot inspekcyjny MR-2000 do wykonywania pomiarów grubości. Robot ten umożliwia oględziny i wykonywanie pomiarów na płaskich elementach konstrukcji kadłuba takich jak poszycie grodzi, burt, pokładów oraz den w ładowniach statków. Brakującym elementem konstrukcji podlegającym pomiarom grubości są dźwigary pokładowe. W celu umożliwienia wykonania brakujących pomiarów podjęto próbę konstrukcji BSP.

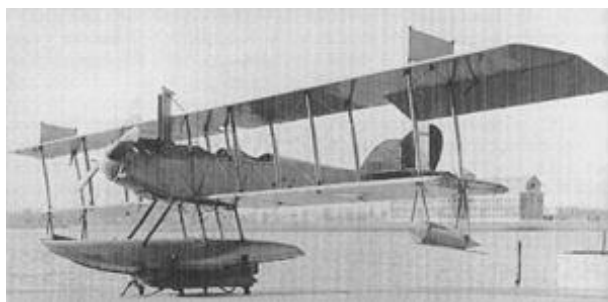
BSP - Bezzałogowy Statek Powietrzny (ang. unmanned aerial vehicle, UAV), bezzałogowy system powietrzny (ang. unmanned aerial system, UAS), **dron** – statek powietrzny, który nie wymaga do lotu załogi obecnej na pokładzie oraz nie ma możliwości zabierania pasażerów, pilotowany zdalnie lub wykonujący lot autonomicznie.

Historia rozwoju techniki wykazuje, że najszybszy rozwój technologii następuje w zastosowaniach militarnych. Tak też jest z historią bezzałogowych statków powietrznych. Pierwsze próby wykorzystania BSP miały zastosowanie militarne. Podczas pierwszej wojny światowej w roku 1916 w Wielkiej Brytanii zrodził się pomysł konstrukcji samolotów sterowanych radiowo do zwalczania niemieckich Zeppelinów. Niestety współczesna technologia nie pozwoliła na realizację celu. Jednak próby prototypu Ruston Protector AT dowiodły, że zdalne sterowanie i kontrolowanie samolotu jest możliwe.



Ruston Protector AT

We wrześniu 1917r w Stanach Zjednoczonych po raz pierwszy przetestowano autopilota, w które to urządzenie został wyposażony samolot Curtiss N-9.



Curtiss N-9H - https://en.wikipedia.org/wiki/Curtiss_Model_N

Test przeprowadzono pod nadzorem pilota. Wyniki testu wypadły zadowolająco i zachęciły do skonstruowania samolotu Hewitt-Sperry jako prekursora - pierwszej bomby latającej Curtiss-Sperry Flying Bomb.



Hewitt-Sperry startuje z rozpędzonego samochodu.

Wyposażenie w samolotu w żyrokompas i czujniki ciśnienia umożliwiło samodzielny start a następnie na zdefiniowanej przed misja wysokości lecieć w kierunku celu.

Po zakończeniu pierwszej wojny światowej jeszcze przez kilka lat próbowano rozwijać samolot Curtiss-Sperry. Dużym problemem dla samolotu sterowanego radiowo było lądowanie, po licznych „kretach” w roku 1927 zakończono eksperymenty z tym rodzajem broni.

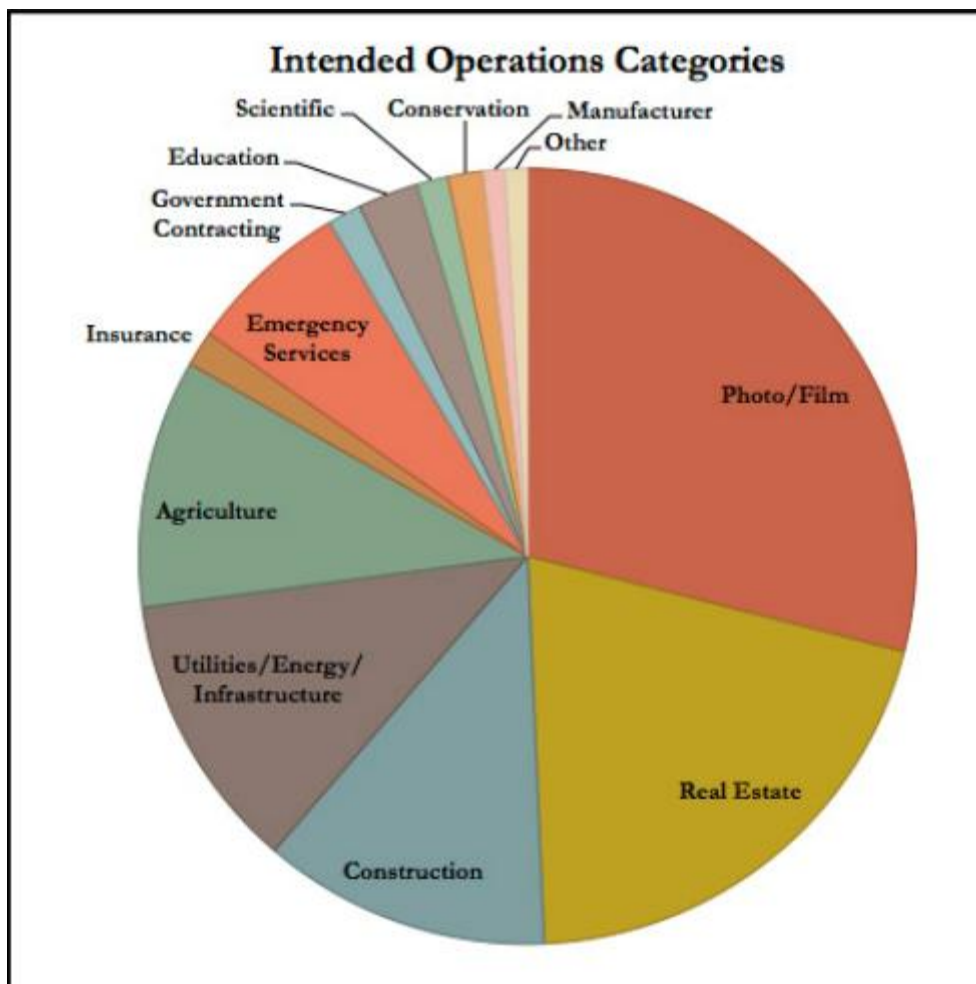
Dla zdalnie sterowanych samolotów znaleziono też inne zastosowanie. W latach 20 zaczęto używać ich jako ruchome cele dla artylerii przeciwlotniczej. Głównie wykorzystywane były samoloty używane podczas pierwszej wojny światowej. Najpopularniejszym samolotem był Queen Bee. To w roku 1936 konstruktorzy doskonalący te konstrukcje po raz pierwszy nazwali je dronami.



Samolot bezałogowy, kierowany radiem DH-82B „QUEEN BEE”
 (<http://www.samolotypolskie.pl/samoloty/782/126/De-Havilland-DH-82-Tiger-Moth-Queen-Bee2>)

Po raz pierwszy na dużą skalę BSP zostały użyte przez Izrael w roku 1982 w czasie wojny w Libanie. W drugiej połowie lat 80 ubiegłego wieku następował coraz szybszy rozwój platform bezałogowych. W latach 90 i pierwszej dekadzie XXI w. szybki postęp technologiczny spowodował spadek kosztów produkcji dronów, co stało się powodem zainteresowania cywilnych inwestorów i wykorzystania na rynku komercyjnym.

Poniżej przedstawiono graficzne przedstawienie cywilnego zastosowania dronów w USA (*Analysis of U.S. Drone Exemptions 2014-2015- FFA*).



Rozwój informatyki, optoelektroniki umożliwiły wykorzystanie wielowirnikowców jako BSP. Drony stają się coraz tańsze i łatwiejsze w produkcji co doprowadziło do ich zdecydowanego wejścia na rynek komercyjny. Do ciekawych zastosowań BSP należy zaliczyć

użycie ich nie tylko do robienia zdjęć i filmów ale także w akcjach ratowniczych i ratownictwie medycznym, jako wsparcie logistyki.

2. BEZZAŁOGOWE STATKI POWIETRZNE DO PROWADZENIA PRZEGLĄDÓW.

Bezzałogowe statki powietrzne BSP popularnie nazywane dronami znajdują coraz większe zastosowanie w badaniach nieniszczących takich jak badania wizualne:

- konstrukcji mostów, statków, zbiorników na gaz i ropę, wież wydobywczych,
- kanalizacji,
- rurociągów,
- linii energetycznych,

Do tego rodzaju zadań najbardziej przydatne są konstrukcje umożliwiające wolne poruszanie się w czasie lotu, dużą manewrowość, pionowy start i lądowanie oraz zawis. Konstrukcjami takimi są wielowirnikowe.

Najczęściej używanymi konstrukcjami są:

a) czterowirnikowce – quadcoptery



b) sześciowirnikowe – hexacoptery



c). osmiowirnikowce – octocoptery



BSP używane do przeglądów w pomieszczeniach zamkniętych narażone są na kolizje, dlatego też powinny być odpowiednio zabezpieczone konstrukcyjnie. Taką konstrukcją jest dron ELIOS produkcji szwajcarskiej firmy Flyability.



*ELIOS podczas przeglądu zbiornika ciśnieniowego
(www.flyability.com/hubfs/Flyability_chevron_pressure_08-1600x1062.jpg)*



*Przegląd ogólny zbiornika balastowego na statku.
(<https://www.flyability.com/other-industries>)*

3. OPIS KONSTRUKCJI DRONA DO POMIARÓW GRUBOŚCI ORAZ PROBLEMY WYSTĘPUJĄCE PODCZAS PROJEKTOWANIA

Dwa lata temu podczas XXIII Seminarium „Nieniszczące badania materiałów” został wygłoszony referat „Zautomatyzowane pomiary grubości na statkach” w którym przedstawiono robot inspekcyjny MR-2000 do wykonywania pomiarów grubości. Robot ten umożliwia oględziny i wykonywanie pomiarów na płaskich elementach konstrukcji kadłuba takich jak poszycie grodzi, burt, pokładów oraz den w ładowniach statków. Brakującym elementem konstrukcji podlegającym pomiarom grubości na statkach są dźwigary pokładowe. W celu umożliwienia wykonania brakujących pomiarów podjęto próbę konstrukcji BSP.

3.1 Dobór grubościomierza.

Przy doborze grubościomierza kierowano się kryterium możliwości przesyłu wykonanego pomiaru na odległość. Nie wiele istniejących na rynku grubościomierzy umożliwia przesłanie wyników pomiarów w czasie rzeczywistym na odległość do 50 m. Grubościomierzem takim jest SONO M510 firmy METRISON posiadający możliwość wykonywania pomiarów z przewodem łączącym głowicę z grubościomierzem o długości do 50 m. Zastosowanie tego grubościomierza jest możliwe, wymaga stałego połączenia przewodem głowicy ultradźwiękowej, znajdującej się na dronie z grubościomierzem znajdującym się w rękach operatora. Głowice podwójne używane z tym grubościomierzem wymagają sprzęgacza by można było wykonać pomiar. Próby zastosowania tego grubościomierza niestety nie przyniosły oczekiwanego rezultatu. Zaczęto poszukiwać innego rozwiązania, które eliminowało by ciągnący się przewód. Są takie możliwości techniczne przesyłania wyników pomiarów drogą radiową, ale to wymaga całkiem nowej konstrukcji grubościomierza. Prowadzone były rozmowy z ewentualnymi producentami ale ceny proponowane znacznie przekraczały budżet przeznaczony na ten projekt. Dlatego też zaczęto poszukiwać innego rozwiązania.

Rozwiązaniem takim jest przesłanie obrazu z ekranu grubościomierza w momencie właściwego sprzężenia pomiędzy głowicą a badanym elementem konstrukcji. Takie rozwiązanie narzuciło konieczność poszukiwania grubościomierza z wyświetlaczem tak umieszczonym by nie wymuszał nadmiernej wysokości BSP.

Takim grubościomierzem okazał się MULTIGAGE 5500 firmy Tritex, umożliwiający wykonywanie pomiarów przez powłoki do 6 mm grubości. MULTIGAGE 5500 wyposażony jest w głowicę normalną – pojedynczą chronioną membraną. W warunkach wykonywania pomiarów zbiornikach ładunkowych na zbiornikowcach nie wymaga dodatkowego sprzęgacza. Występująca wilgoć na elementach konstrukcji jest wystarczająca.



Grubościomierz multigauge 5500 (www.tritexndt.com)

DANE TECHNICZNE GRUBOŚCIOMIERZA

Sound Velocity Range From 1000 m/s to 8000 m/s (0.0394 in/ μ s to 0.3150 in/ μ s)

Single Crystal

Soft Faced Probe Options 2.25 MHz 3.5 MHz 5 MHz

Probe Measurement Range 3 - 250 mm 2 - 150 mm 1 - 50 mm

Probe Sizes 13 mm & 19 mm 13 mm 6 mm & 13 mm

Resolution 0.1 mm (0.005") or 0.05 mm (0.002")

Accuracy ± 0.1 mm (0.005") or ± 0.05 mm (0.002")

Coatings Range Up to 6mm (Standard Mode)*; up to 20mm (Coating Plus+)*

Display Red 4 character 7 segment LED

Batteries 3 x disposable AA alkaline batteries or rechargeable NiMH / NiCD

Battery Life Up to 50 hours continuous use using alkaline batteries

Gauge Dimensions 147 mm x 90 mm x 28 mm (5.75" X 3.5" X 1")

Gauge Weight 320 g (11.3 ounces) including batteries

Environmental Case rated to IP65. RoHS and WEEE compliant

Operating Temperature -10°C to +50°C (14°F to 122°F)

Storage Temperature -10°C to +60°C (14°F to 140°F)

Grubościomierz wyposażony jest w **Automatic Measurement Verification System (AMVS)** co eliminuje fałszywe wyniki pomiarów.

3.2 Dobór BSP do realizacji zadania.

Po analizie dostępnych na rynku konstrukcji okazało się, że żadna nie spełnia wszystkich kryteriów. Kryteria przyjęte jakie powinna spełniać konstrukcja

- a. możliwość zainstalowania grubościomierza
- b. łatwy transport do miejsca wykonywania pomiarów
- c. względnie bezpieczne wykonywanie lotów w przestrzeniach zamkniętych (kolizjo odporność),
- d. umożliwiać poziomy dołot do mierzonych elementów z bardzo małą prędkością
- e. zawis
- f. posiadać własne oświetlenie
- g. umożliwiać w czasie rzeczywistym obserwację parametrów lotu
- h. umożliwiać w czasie rzeczywistym obserwację otoczenia

- i. umożliwić w czasie rzeczywistym przesłanie wyników pomiaru do operatora i inspektora

Dlatego też przystąpiono do skonstruowania nietypowego drona umożliwiającego spełnienie założeń. Jako szkielet konstrukcji przyjęto dostępną w sprzedaży ramę TAROT Iron Man 680 (hexapter). Konstrukcja szesciowirnikowca umożliwia, przy odpowiednio dobranym autopilocie, bezpieczne lądowanie przy jednym uszkodzonym pędniku. Rozmiar szkieletu pozwolił na zainstalowanie grubościomierza .



Jest to rama umożliwiająca złożenie ramion drona do transportu



Rama w stanie złożonym

Dron posiada własne oświetlenie – trzy reflektory LED o mocy 3W oraz 1,5W. Co w zupełności wystarcza. (pkt e.)

Realizację: **pkt. c. , d** osiągnięto stosując kontroler lotu (autopilot) NAZA M-V2 firmy DJI, który umożliwia zawis drona, jak również w przypadku uszkodzenia jednego z pędników bezpieczne lądowanie. W celu zapewnienia poziomego dolotu do mierzonego elementu zastosowano dodatkowy napęd EDF. Wymagało to odpowiedniego przekonstruowania ramy.



Ad.pkt. f.i g. Obserwacje parametrów na tle obrazu z kamery FVP podczas lotu zapewnia i OSDmini firmy DJI. Na tle z obrazu z kamery wyświetlane są następujące parametry:

- napięcie baterii,
- odległość od punktu startu
- wysokość na jakiej znajduje się dron w stosunku do miejsca startu
- kąt pochylenia dzioba
- kąt przechył ,
- prędkość poziomą,
- prędkość pionową
- kurs drona w stosunku do punktu startu.

Do obserwacji otoczenia zastosowano trzy minikamery kolorowe:

- do obserwacji głowicy, RunCam PZ0420M
- do przodu i do góry, RunCam OWLPLUS 700TVL 0.0001 lux.
- do tyłu i w dół, 600TVL Camera –IR Sensitive Model: HS1177

obraz z kamer jest transmitowany za pomocą nadajnika 5,8 GHz i odbierany jednocześnie na dwóch monitorach wyposażonych w odbiorniki. Obraz z kamer jest przełączany za pomocą aparatury sterującej dronem.

3.3 Przesyłanie wyników pomiarów

Obraz wyników wyświetlanych na wyświetlaczu grubościomierza transmitowany jest za pomocą kamery, z wbudowanym nadajnikiem do monitorów:

- operatora WM701 TFT LCD7''HD



- obserwatora FPV 718B 7'' HD



3.4 Konstrukcja ramienia drona z głowicą grubościomierza.

Po dokonaniu wyboru grubościomierza oraz ramy coptera przystąpiono do konstrukcji ramienia (pomiarowego) na którym zamontowana być głowica grubościomierza. Konstrukcja ramienia z głowica powinna:

- zapewniać właściwe (prostopadłe) ustawienie głowicy względem powierzchni z której wykonywany jest pomiar,
- zapewniać właściwy docisk głowicy do mierzonego elementu,
- chronić głowicę przed uderzeniem w badaną konstrukcję,
- umożliwiać łatwy demontaż do transportu

Dron podczas lotu jest zawsze pochylony. Dolatując do badanej konstrukcji płaszczyzna w której poruszają się śmigła tworzy z płaszczyzną badanej powierzchni kąt różny od normalnego. Największym problemem do rozwiązania okazało się zapewnienie prostopadłego ustawienia głowicy względem badanej powierzchni. Głowica powinna być zamocowana na przegubie i posiadać kołnierz ustalający głowicę prostopadle do miejsca przyłożenia. Po licznych próbach ustalono, że rolę przegubu najlepiej spełnia sprężyna do której przymocowana jest głowica wyposażona w pierścień ustalający.

Ochronę głowicy przed dynamicznym uderzeniem w badany element zrealizowano przez konstrukcję mechanizmu wysuwania i chowania głowicy. Dodatkowym zabezpieczeniem jest ochrona przed uderzeniem głowicą. Ochrona ta umożliwia wykonanie pomiaru po wysunięciu głowicy.

Do ochrony głowicy przymocowany jest elektromagnes zapewniający właściwy docisk głowicy do badanej powierzchni.

4. POMIARY GRUBOŚCI

Po przygotowaniu drona zgodnie z instrukcją do wykonywania pomiarów i uruchomieniu silników, należy sprawdzić prawidłowość:

- działanie kamer i monitorów
- przełącznika kamer
- prawidłowość działania mechanizmów ruchu kamer
- działanie wysuwu głowicy
- sprawdzenie oświetlenia
- dokonać próbnego oblotu.

Dopiero tak przygotowany dron można użyć do wykonania pomiarów.

5. PODSUMOWANIE

Doświadczenie zdobyte podczas prac konstrukcyjnych oraz prób pozawala stwierdzić, że budowa drona do wykonywania pomiarów jest możliwa. Obecną konstrukcję należało by uzupełnić o możliwość wykonywania pomiarów w pozycji sufitowej, co nie powinno sprawiać większych problemów.

Obecnie uczymy się pilotażu i oblatujemy drona. Mam nadzieję, że podczas prezentacji będę mógł zademonstrować film z prób.

LITERATURA

- [1] S. Bezzałogowy statek powietrzny – Wikipedia, wolna encyklopedia
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Hewitt-Sperry_Automatic_Airplane
- [3] Łukasz Michalik – Historia bezzałogowych statków powietrznych www.bezzałogowce.pl/
- [4] S. Książek, D. Kasprzycki. Cywilne zastosowanie BSP - <http://bezpiecznelotnisko.pl>
- [5] Analysis of U.S. Drone Exemptions 2014-2015- FFA
- [6] [https:// dji.com/product/inspire-2-professional](https://dji.com/product/inspire-2-professional)
- [7] <https://www.flyability.com>
- [8] <https://abc-rc.pl>
- [9] <http://www.tarotrc.com/?Lang=en>

