

**Politechnika Warszawska**  
**Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa**  
**Zakład Samolotów i Śmigłowców**

**SAMOLOTY BEZZAŁOGOWE**

**Projekt nr 1**  
**Data oddania: 14.03.2023**

MALE, 1 reciprocal engine, mass below 1000 kg, Classical wing configuration

**Zespół nr 2:**  
**inż. Sara Waśniewska**  
**inż. Stanisław Dul**  
**inż. Kenan Majewski**

**prowadzący: Prof. Zdobysław Goraj**

**Warszawa, semestr letni, 2022/2023**

## Podział obowiązków w zespole

Lider zespołu:

*Sara Waśniewska*

Dane kontaktowe:

Członek zespołu	Email
Sara Waśniewska	sara.wasniewska.stud@pw.edu.pl
Stanisław Dul	stanislaw.dul.stud@pw.edu.pl
Kenan Majewski	kenan.majewski.stud@pw.edu.pl

Podział pracy przy projektach:

- **Projekt I** – Kenan Majewski, Sara Waśniewska
- **Projekt II** – Sara Waśniewska, Stanisław Dul
- **Projekt III** – Stanisław Dul, Sara Waśniewska
- **Projekt IV** – Stanisław Dul, Kenan Majewski
- **Projekt V** – Kenan Majewski, Stanisław Dul
- **Projekt VI** – Sara Waśniewska, Kenan Majewski

Projekt jest prezentowany przez osoby odpowiedzialne za jego wykonanie oraz przez lidera zespołu.

Procedura awaryjna:

Do każdego projektu przypisane są dwie osoby w celu zapewnienia redundancji. W przypadku nieobecności jednego z członków zespołu podczas pracy nad projektem jego obowiązki przejmuje druga przypisana do projektu osoba. Lider zespołu może wyznaczyć kolejną osobę do pomocy przy danym projekcie. Zadaniem drugiej osoby przypisanej do projektu jest pomoc przy projekcie oraz sprawdzenie go przed oddaniem.

# 1. Opis wymagań

Do samolotu UAV o specyfikacji MALE, z silnikiem tłokowym i masie poniżej 1000 kg, z konfiguracją skrzydeł klasyczną, można dobierać różne czujniki w zależności od konkretnych wymagań misji i budżetu. Zgodnie z wymaganiami zadania, należy dobrać trzy główne typy czujników: SAR, FLIR i SATCOM.

## 2. Dobór czujników

### 2.1 FLIR Digital Compact Multi-Purpose Advanced Stabilised System (DCoMPASS)

Forward Looking InfraRed (FLIR) to czujnik obrazowania termicznego, który wykorzystuje promieniowanie podczerwone do wykrywania obiektów. Czujnik FLIR może być używany do wykrywania ciepłych obiektów w dzień i w nocy, takich jak pojazdy, ludzie, budynki itp. Przykładem może być Digital Compact Multi-Purpose Advanced Stabilised System (DCoMPASS), który oferuje zaawansowaną jakość obrazów termowizyjnych i jest bardzo lekki, co umożliwia łatwe zainstalowanie na pokładzie samolotu UAV. Specyfikację czujnika przedstawioną przez producenta przedstawiono na rysunku nr 1.

#### Digital Compact Multi-Purpose Advanced Stabilised System (DCoMPASS)

A variant of CoMPASS, DCoMPASS has a full digital architecture and can carry six sensors, including a gimbal-mounted inertial measurement unit that allows for highly accurate navigation, target location and geo-location. Other sensors include:

- Forward Looking Infrared (FLIR) Thermal imager
- Large format Charged Couple Device (CCD) colour tv camera
- Laser target illuminator
- Laser rangefinder
- Laser target designator



In December 2005, DCoMPASS was selected for the UK's WK450 Watchkeeper UAV, a variant of the Elbit Hermes 450 UAV.

DCOMPASS	
Platform	UK's WK450 Watchkeeper UAV
Payload weight	33 to 38 kg
Dimensions	38 cm (15 in) diameter
Field of view	Thermal Imager ( 2 Sensor Model Options) Flir A-Topaz: 24° x 18° (wide); continuous (medium); 0.8° x 0.6° (narrow) Flir B-Lotus: 13° x 7° (wide); 2.0° x 1.5° (medium); 0.61° x 0.46° (narrow); Color TV: 0.59° x 0.44° (narrow) 21.25° x 16° (wide)
Range	Thermal Imager Spectral Range: 3-5 µm Laser Range finder: 20 km

Rys 1. Opis producenta ze źródła [1] czujnika typu FLIR Digital Compact Multi-Purpose Advanced Stabilised System

## 2.2 SATCOM Cobham AVIATOR IGA-5001

Satellite Communications (SATCOM) to system łączności satelitarnej, który umożliwia przesyłanie danych i informacji z samolotu UAV na ziemię w czasie rzeczywistym. Czujnik SATCOM pozwala na transmisję dźwięku, obrazów i danych, co jest bardzo ważne w przypadku misji rozpoznawczych i celowniczych. Przykładem może być system łączności satelitarnej o nazwie Cobham AVIATOR IGA-5001, który oferuje wysokiej jakości połączenia satelitarne w czasie rzeczywistym, nawet w trudnych warunkach terenowych. Specyfikację czujnika przedstawioną przez producenta przedstawiono na rysunku nr 2.

### Cobham AVIATOR IGA-5001

Inmarsat SATCOM Intermediate Gain Antenna

Data Sheet

The most important thing we build is trust

#### Description

The IGA-5001 is a fuselage mount electronically steered, phased array antenna. It is a rugged and reliable product gaining from the field experience of the HGA-7000 and HGA-7001, the latter being the antenna of choice on new air transport aircraft. It is fully compliant with the Inmarsat SDM and is considered to be the optimum antenna solution for Inmarsat's SwiftBroadband Class 7 service. It is by far the smallest Intermediate Gain Antenna certified for both single and multi-channel operation. Partnered with Cobham's AVIATOR range, it makes a compelling case for moving Inmarsat voice and data services onto smaller aircraft types.

#### Features

- Low profile
- Small footprint
- Solid state highly reliable design
- Integrated GPS antenna
- TSO-C132 certified
- Fuselage mount with simple connection via two TNC Bulkhead feedthroughs
- Over 60% smaller and 34% lighter than its nearest competitor

#### Technical Specifications

##### Dimensions

Length: 581 mm (22.87")  
Width: 175 mm (6.89")  
Height: 49 mm (1.93")  
Weight: 3.5 kg (7.7 lbs)

##### Interfaces

RF: TNC Male  
Control: TNC Male

##### Altitude

70,000 ft

##### Temperature Range

-65 to +70 deg C

##### Voltage

28 Vdc

##### Power

7 W

##### Qualification

DO-160F  
DO-178B level D



Rys 2. Opis producenta ze źródła [2] czujnika typu SATCOM Cobham AVIATOR IGA-5001

## 2.3 SAR RK-12

Synthetic Aperture Radar (SAR) to radar pracujący na falach elektromagnetycznych o wysokiej częstotliwości, który generuje obrazy ziemi z dużą rozdzielczością. SAR może pracować w dzień i w nocy oraz w każdych warunkach pogodowych. Zaleca się zastosowanie czujnika SAR o wysokiej rozdzielczości dla uzyskania lepszej jakości obrazów. Przykładem może być czujnik SAR o nazwie RK-12, który zapewnia bardzo dobre wyniki w operacjach rozpoznawczych, gdzie specyfikację przedstawioną przez producenta przedstawiono na rysunku nr 3.



The RK-12 unmanned aerial vehicle SAR system is an imaging radar system independently developed by the company that uses the principle of synthetic aperture radar to obtain high-resolution two-dimensional images of the ground. The system can be widely mounted on various light and small unmanned rotorcraft, fixed-wing aircraft and other flight platforms, and realizes all-day, all-weather, quasi-real-time, high-resolution remote sensing and telemetry functions of the observation area.

### Features

- SAR imaging
- target search

### Performance

- Band: Ku
- Imaging width: 1.5km
- Optimal resolution: 0.25m
- Search distance:  $\geq 8\text{km}$
- Imaging distance:  $\geq 6\text{km}$
- Weight: 2.1kg (live imaging)
- Dimensions: 350mm x 180mm x 200mm
- Power consumption: 70W

### Application field

- Environmental monitoring
- Disaster assessment
- Remote search and rescue
- Island surveillance

Rys 3. Opis producenta ze źródła [3] czujnika typu SAR RK-12

## 2.4 VN-310 DUAL GNSS/INS

Moduł INS/GNSS to elektroniczny moduł, który łączy w sobie dwa systemy nawigacyjne - inercyjny system nawigacyjny (INS) oraz satelitarny system nawigacji globalnej (GNSS). INS jest systemem nawigacyjnym, który mierzy siłę przyspieszenia i prędkość kątową, aby określić prędkość i kierunek ruchu. INS wykorzystuje bezwładność ruchu (utrzymanie stałej prędkości i kierunku) do obliczania pozycji i orientacji. INS jest niezależny od innych źródeł informacji, takich jak GPS, co oznacza, że może działać w przypadku braku sygnału satelitarnego lub w przypadku zakłóceń sygnału. GNSS to satelitarny system nawigacji globalnej, który umożliwia precyzyjne określenie pozycji, prędkości i czasu na całym świecie. Moduł INS/GNSS łączy w sobie oba systemy nawigacyjne, co umożliwia jeszcze bardziej precyzyjne określenie pozycji, prędkości i kierunku ruchu. Przykładem może być czujnik VN-310 DUAL GNSS/INS o specyfikacji przedstawionej przez producenta na rysunku nr 4.

Each individual VN-310 and VN-310E undergoes a robust calibration and acceptance testing process at VectorNav's AS9100 certified manufacturing facility. Performance specifications are based on comprehensive field testing and results from real-world applications, and are regularly tested to ensure continued conformance to such specifications.

### Sensor Summary

- VectorNav proprietary Extended Kalman Filter INS delivers coupled position, velocity, and a continuous attitude solution over the complete 360° range of operation
- GNSS-Compass for static and low dynamic heading accuracy
- Individually calibrated for bias, scale factor, misalignment, and temperature over full operating range (-40°C to +85 °C)
- RTK Capable: Support for External RTCM 3 Inputs
- Raw GNSS Data: Exportable RINEX Data for PPK; Raw Pseudorange, Doppler and Carrier Phase outputs
- Coning and sculling integrals ( $\Delta V$ 's,  $\Delta B$ 's)
- Data output format: ASCII (VectorNav), NMEA-0183, Binary (VectorNav), ARINC 429<sup>1</sup>
- VN-310:
  - IP 68 per IEC 60529
  - Temperature (DO-160G)
  - Electrical (MIL-STD-1275E)
  - Vibration & Shock (MIL-STD-810G)
  - EMI & Radiation (MIL-STD-461G)
- VN-310E: 24-pin 1mm pitch board-to-board interface connector with (2) U.FL for GNSS antenna connection

### Performance Specifications

#### ATTITUDE

Range (Heading/Yaw/Roll)	± 180°
Range (Pitch)	± 90°
Heading (Magnetic) <sup>2</sup>	2.0° RMS
Heading (INS) <sup>3,4</sup>	0.05° to 0.1°, 1σ
Heading (GNSS-Compass) <sup>5</sup>	
0.5 m Baseline	0.3° to 0.6° RMS
1.0 m Baseline	0.15° to 0.3° RMS
2.0 m Baseline	0.08° to 0.15° RMS
Pitch/Roll (Static)	0.05° RMS
Pitch/Roll (INS) <sup>4</sup>	0.015°, 1σ
Heading Mounting Misalignment (VN-310) <sup>6</sup>	< 0.05°, 1σ
Heading Mounting Misalignment (VN-310E) <sup>6</sup>	0.15°, 1σ
Pitch/Roll Mounting Misalignment <sup>8</sup>	< 0.05°, 1σ
Angular Resolution	0.001°

#### POSITION/VELOCITY

Horizontal Position Accuracy <sup>9</sup>	1.0 m RMS
Vertical Position Accuracy <sup>9</sup>	1.5 m RMS
RTK Position Accuracy <sup>7</sup>	0.01 m + 1 ppm CEP
Free Inertial Position Drift <sup>4</sup>	0.5 cm/s <sup>2</sup>
Velocity Accuracy	< 0.02 m/s

### IMU Specifications

	ACCELEROMETER	GYROSCOPE	MAGNETOMETER
Range <sup>1</sup>	±15 g	±490°/s	±2.5 Gauss
In-Run Bias Stability (Allan Variance)	< 10 µg	< 1°/hr (0.4-0.7°/hr typ.)	-
Noise Density	< 0.04 mg/√Hz	5 °/hr /√Hz	140 µGauss/√Hz
Bandwidth	240 Hz	240 Hz	200 Hz
Cross-Axis Sensitivity	±0.05 %	< 0.05 %	±0.05 %

### GNSS Receivers

Receiver Type	184 Channel, L1C/A, L10F, E1, B1L, L2C, L20F, E5b, B2I GNSS
Constellations <sup>10</sup>	GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS, SBAS
Time-To-First-Fix (Cold / Hot)	24 s / 2s
Altitude Limit	50,000 m
Velocity Limit	500 m/s

### Environmental

Operating Temperature	-40° to +85° C
Storage Temperature	-40° to +85° C
MTBF (VN-310)	> 25,000 hours
MTBF (VN-310E)	> 45,000 hours

### Mechanical/Electrical

	SIZE	WEIGHT	INPUT VOLTAGE	CURRENT DRAW <sup>12</sup>	POWER <sup>12</sup>
VN-310	56 x 56 x 31 mm	160 g	12 to 34 V	135 mA @ 24 V	< 3.3 W
VN-310E	31 x 31 x 12 mm	15 g	3.2 to 3.5 V	480 mA @ 3.3 V	< 1.6 W

### Interfacing

Output Data Rate (IMU) <sup>11</sup>	up to 800 Hz
Output Data Rate (Position, Velocity & Attitude)	up to 400 Hz
Primary Interface (VN-310)	RS-422 (Optional RS-232)
Auxiliary Interface (VN-310)	RS-422
Interface (VN-310E)	(2) Serial TTL
GNSS PPS	30 ns RMS, 60 ns 99%
Input	Sync-in
Output	Sync-out

Rys 4. Opis producenta ze źródła [4] czujnika VN-310 DUAL GNSS/INS



### 3. Podsumowanie

W projekcie wybrano trzy typy czujników, które powinny być zainstalowane na samolocie bezałogowym (UAV) o specyfikacji MALE, z jednym silnikiem spalinowym i masą poniżej 1000 kg oraz klasyczną konfiguracją skrzydeł. Czujniki te to SAR, FLIR i SATCOM.

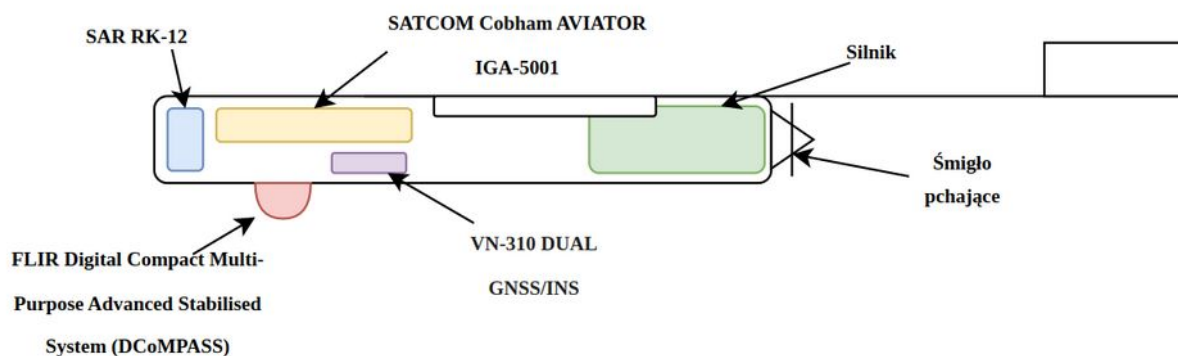
Czujnik SAR to radar o syntetycznej aperturze, który umożliwia uzyskanie bardzo szczegółowych obrazów terenu, niezależnie od warunków atmosferycznych i oświetlenia. Czujnik FLIR to kamera termowizyjna, która umożliwia wykrywanie źródeł ciepła, co może być szczególnie przydatne w sytuacjach, gdy trzeba zlokalizować źródło pożaru lub innego zagrożenia. Natomiast czujnik SATCOM umożliwia łączność z systemami satelitarnymi, co jest niezbędne do zdalnego sterowania UAV, przesyłania danych lub uzyskiwania informacji o pogodzie i innych warunkach atmosferycznych.

Dodatkowo, w projekcie został wymieniony moduł INS/GNSS, który łączy w sobie system nawigacji inercyjnej (INS) oraz satelitarny system nawigacji globalnej (GNSS), co umożliwia jeszcze bardziej precyzyjne określenie pozycji, prędkości i kierunku ruchu samolotu.

Wybór tych czujników ma na celu umożliwienie UAV prowadzenia zadań związanych z rozpoznaniem, monitorowaniem i przeprowadzaniem misji w warunkach, w których dostęp do terenu może być utrudniony lub niemożliwy dla ludzi. Czujniki te umożliwiają uzyskanie niezbędnych informacji, takich jak obraz terenu, źródła ciepła czy łączność satelitarna, co pozwala na kontrolowanie UAV z odległego miejsca i zwiększa jego efektywność i bezpieczeństwo działań. Wybrane czujniki przedstawiono w tabeli nr 1. Na rysunku nr 5 przedstawiono wstępne rozmieszczenie czujników założone w projekcie.

**Tab 1. Wybrane w projekcie czujniki**

NR	NAZWA	PRZEZNACZENIE	MASA	ŹRÓDŁO
1	Digital Compact Multi-Purpose Advanced Stabilised System (DCoMPASS)	Obserwacja, namierzanie celów	38 kg	[1]
2	Cobham AVIATOR IGA-5001	Komunikacja satelitarna	3.5 kg	[2]
3	SAR RK-12	Teledetekcja powierzchni, namierzanie celów (również ruchomych), wykrywanie zagrożeń	2.1 kg	[3]
4	VN-310 DUAL GNSS/INS	Nawigacja	0.160 kg	[4]



**Rys 5. Wstępne rozmieszczenie czujników**

## Bibliografia

- [1] <https://t1.daumcdn.net/cfile/blog/20503E3D4D8D4A0B26?download>
- [2] <https://www.cobhamaerospacecommunications.com/aircraft-satcom-systems/aircraft-satcom-antennas/intermediate-gain-antennas-iga-class-7-332kbps/aviator-iga-5001/>
- [3] <https://www.militarydrones.org.cn/synthetic-aperture-radar-for-drones-p00542p1.html>
- [4] <https://www.vectornav.com/resources/datasheets/vn-310-dual-gnss-ins>