

Załącznik 14.1

# AGENDA BADAWCZA

dla projektu

„OpticalFencePL - przeprowadzenie prac badawczych przez firmę CILIUM ENGINEERING sp. z o.o. w celu komercjalizacji wyników badań w postaci sieci mobilnych stacji OpticalFencePL do trójwymiarowych pomiarów pozycji satelitów”

## Spis treści

1.	Wprowadzenie .....	2
1.1.	Firma CILIAM ENGINEERING sp. z o.o.– informacje ogólne.....	2
1.2.	Doświadczenie w zakresie prowadzenia badań .....	2
1.3.	Produkty i usługi – oferta rynkowa .....	3
1.4.	Techniki obserwacji satelitów – stan obecny.....	3
1.5.	Plany rozwojowe .....	4
2.	Infrastruktura badawcza .....	12
3.	Innowacyjne obszary badawcze .....	13
3.1.	Cele.....	13
3.2.	Zagadnienia badawcze .....	14
4.	Założenia dotyczące procesu komercjalizacji wyników badań przemysłowych .....	18
5.	Rezultaty zaplanowanych prac badawczo-rozwojowych .....	21
6.	Ryzyka i zagrożenia, które mogą utrudnić lub uniemożliwić osiągnięcie zakładanych rezultatów .....	21
7.	Kadra badawcza .....	22
8.	Okres realizacji - harmonogram .....	25
9.	Referencje .....	27

## 1. Wprowadzenie

### 1.1. Firma CILIAM ENGINEERING sp. z o.o.– informacje ogólne

Cilium Engineering to firma typu start-up/ spin out założona w 2013 roku, w celu komercjalizacji rozwiązań opracowanych podczas pracy nad projektami naukowymi, głównie Project Solaris. Głównym celem firmy jest wprowadzenie na rynek zaawansowanych algorytmów, urządzeń i technologii. Spółka posiada w tym zakresie globalne doświadczenie.

Cilium to mała, elastyczna firma inżynierii sprzętu, która specjalizuje się w niezależnych obserwatoriach. Firma dostarcza niestandardowe, dopasowane rozwiązania zaprojektowane tak, aby spełniały rygorystyczne wymagania zaawansowanych systemów robotycznych. Cilium projektuje niezależne obserwatoria od podstaw, jak również konkretne moduły sprzętu/oprogramowania, które można dodać do istniejącego już systemu. Modułarna konstrukcja jest skuteczna, łatwa w utrzymaniu i aktualizacji. Zapewnia dobry poziom elastyczności i interoperacyjności z innymi komponentami.

Cilium wyznaje zasadę, że najlepszym rozwiązaniem złożonych problemów jest prosta i wydajna konstrukcja oraz silne połączenie sprzętu i oprogramowania, które są zbudowane na zamówienie, aby zapewnić najlepsze wrażenia użytkownika końcowego.

Spółka dysponuje wiedzą i know-how, aby móc zaspakajać potrzeby potencjalnych klientów. Posiada również doświadczenie we wdrażaniu i uruchamianiu swoich rozwiązań w różnych częściach świata.

### 1.2. Doświadczenie w zakresie prowadzenia badań

Spółka Cilium posiada bogate doświadczenie w prowadzeniu prac B+R. Spółka w latach 2013 – 2019 zrealizowała szereg projektów badawczych dla klientów prywatnych i instytucjonalnych, włączając w to Europejską Agencję Kosmiczną.

Współzałożyciel spółki, w ramach swojej pracy doktorskiej, pracował nad metodami prowadzenia automatycznych obserwacji spektroskopowych za pomocą robotycznego teleskopu. Elementy opracowanych narzędzi informatycznych zostały potem wdrożone w specjalistycznym oprogramowaniu (produkcie), który jest obecnie oferowany przez firmę Baader Planetarium (<https://www.baader-planetarium.com/en/software/spectrack-autoguiding-software-for-spectroscopy.html>).

W ramach pracy przy projekcie Solaris w Centrum Astronomicznym im. M. Kopernika PAN, wspólnik spółki opracował system inteligentnego budynku do obserwatorium astronomicznego. Pierwotna wersja tego systemu nadal pracuje w obserwatoriach sieci Solaris. Kolejna generacja została zaprojektowana już w komercyjnie, pod nazwą ObservatoryWatch, dla projektu MeerLICHT, realizowanego przez Radboud University. Od tego czasu system jest w stałej ofercie firmy i został dostarczony do kolejnych czterech obserwatoriów w Polsce i za granicą.

Kolejnym projektem badawczym jest Guide and Acquisition Module (GAM) – w ramach swojej pracy doktorskiej wspólnik spółki zbudował moduł do zdalnego przełączania instrumentów optycznych. W 2018 roku powstał prototyp komercyjny, a w 2019 roku pierwszy egzemplarz urządzenia został sprzedany klientowi.

### 1.3. Produkty i usługi – oferta rynkowa

Firma Cilium obecnie oferuje:

#### I. PRODUKTY:

- 1) 2PiSky – system detekcji zachmurzenia dla obserwatoriów astronomicznych;
- 2) ObservatoryWatch – system zabezpieczeń dla obserwatoriów astronomicznych;
- 3) GAM – moduł akwizycji do spektroskopii;
- 4) SpecTrack – oprogramowanie do śledzenia w spektroskopii;
- 5) OmniSky – projekt systemu do detekcji de-orbitacji (Europejska Agencja Kosmiczna - ESA, główny wykonawca).

#### II. USŁUGI:

- 1) Astrometry24.Net - portal astrometryczny (ESA, współtwórca);
- 2) Solaris – usługa utrzymania ruchu świadczona dla Centrum Astronomicznego im. M. Kopernika Polskiej Akademii Nauk (CAMK PAN).

CILIUM realizuje zamówienia dla klientów instytucjonalnych oraz bierze udział w projektach Europejskiej Agencji Kosmicznej w ramach konkursów ogłaszanych przez Agencję.

### 1.4. Techniki obserwacji satelitów – stan obecny

Na orbicie okołoziemskiej znajduje się ok. 600 000 obiektów o rozmiarze większym niż 1 cm. Około 16 000 z nich to obiekty o rozmiarze przekraczającym 10 cm. Amerykańska baza danych NORAD udostępnia informacje o orbitach ok. 17 200 obiektów, najmniejsze z nich mają liniowy rozmiar ok. 10 cm, a tylko część z nich to aktywne satelity. 95% obiektów będących na orbicie okołoziemskiej to śmieci kosmiczne. Śledzeniem i katalogowaniem obiektów będących na orbicie zajmują się instytucje rządowe, wojskowe i prywatne firmy na całym świecie. Niemal wszystkie obiekty nie będące aktywnymi satelitami nie mogą być w żaden sposób sterowane z Ziemi. Podobnie duża część aktywnych satelitów jest pozbawiona tej możliwości. Oznacza to, że ich orbity stale się zmieniają i wymagają ciągłego monitorowania. Śmieci kosmiczne znajdujące się na najniższych orbitach kończą swoje istnienie spalając się w atmosferze podczas zjawiska deorbitacji. Zjawisku deorbitacji towarzyszy nagłe pojaśnienie wywołane gwałtownym wzrostem temperatury i spalaniem się obiektu – z powierzchni Ziemi jest to zjawisko podobne do meteoru.

#### **Techniki obserwacji satelitów**

Istnieje szereg technik obserwacji satelitów z powierzchni Ziemi. Dzielą się na trzy grupy – optyczne, laserowe i radarowe.

#### **Techniki laserowe**

W technice tej teleskop nadawczy wysyła krótki impuls światła laserowego w kierunku satelity. Światło to odbija się od struktury satelity albo od dedykowanych do tego retroreflektorów i wraca do obserwatorium gdzie jest rejestrowane przez teleskop odbiorczy. Mierząc czas od wysłania wiązki lasera do jej powrotu można obliczyć odległość do satelity. Wykonanie serii takich pomiarów

umożliwia wyznaczenie elementów orbity satelity. Stacje laserowe to instalacje złożone i kosztowne. W Polsce jest jedna taka stacja, znajduje się w obserwatorium CBK w Borowcu pod Poznaniem. Im bliżej jest satelita, tym bardziej wydajna jest technika laserowa.

### **Radary**

Zasada działania jest analogiczna jak w przypadku radarów stosowanych w lotnictwie, z tym, że moc wiązki radarowej jest większa. Stacje radarowe nadają się do pomiaru obiektów na najniższych orbitach. Ze względu na bardzo wysoki koszt, takich stacji nie ma w Polsce.

### **Techniki optyczne**

Techniki optyczne, najbardziej rozpowszechnione z tych trzech przedstawionych, polegają na pomiarze pozycji satelity w płaszczyźnie stycznej do sfery niebieskiej, względem gwiazd tła. Ze względu na dużą rozpiętość parametrów technicznych stosowanych teleskopów i kamer, ta metoda pomiarowa umożliwia pomiary obiektów na prawie wszystkich orbitach. Wyjątkiem są najniższe orbity z zakresu orbit Low Earth Orbit (LEO) (pełen zakres LEO to 160- 2000 km), na których prędkości kątowe satelitów są bardzo wysokie, co jest co utrudnia proces śledzenia.

## **1.5. Plany rozwojowe**

Właściciele firmy podjęli działania, mające na celu wprowadzenie do oferty nowego produktu i nowej usługi – innowacyjnych w skali świata:

1. Sieć obserwacyjna OpticalFencePL – produkt,
2. Dostarczanie danych obserwacyjnych do klientów (trackletów) - usługa.

### **OpticalFencePL**

Koncepcja projektu OpticalFencePL opiera się o ideę triangulacji, czyli obserwacji jednego satelity z dwóch lub więcej stacji obserwacyjnych, które wspólnie monitorują wybrany obszar nieba w tym samym czasie. Dzięki technice triangulacji, mierzona jest nie tylko pozycja względem gwiazd, ale dokładne współrzędne w trzech wymiarach. Technika ta łączy zalety klasycznych pomiarów za pomocą teleskopów optycznych jak i laserowych. Dzięki zastosowaniu szybkich kamer wideo możliwe jest także precyzyjne umiejscowienie obserwacji w czasie, co jest niezwykle istotne w przypadku szybko poruszających się satelitów. Precyzyjne symulacje dowiodły, że dwa sensory rozmieszczone w odległości 1000-1500km od siebie (baza sieci) są w stanie rejestrować ponad 300 przelotów satelitów w ciągu nocy.

### **Koncepcja stacji obserwacyjnej**

Stacja obserwacyjna składa się z 6 kamer wideo (format ok. 1 cala) wyposażonych w szybkie obiektywy 50mm f/0.85. Już sześć kamer da łączne pole widzenia 30x30 stopni ze skalą obrazu 0,17 min łuku / piksel. Stosunkowo mała rozdzielczość kątowa wynosząca ok. 10 sek. łuku na piksel (10 razy gorsza niż w przypadku typowych teleskopów) jest kompensowana techniką triangulacji. Zastosowanie tego podejścia pozwala uzyskać precyzję ok. 50 m w przestrzeni trójwymiarowej, co jest wystarczające z operacyjnego punktu widzenia i porównywalne z klasycznymi teleskopami. Rozwiązanie to zrewolucjonizuje optyczne obserwacje obiektów na orbitach LEO. Sieć takich stacji

jest najczulsza na obiekty na niskich orbitach (do 1500 km), gdzie klasyczne techniki optyczne są najmniej wydajne. Po drugie, koszt jednego sensora jest szacowany na mniej niż 150 tys. zł. brutto. Jest nie tylko o wiele niższy niż tradycyjnych rozwiązań, ale posiada atut mobilności oraz możliwości szybkiej rozbudowy.

Wnioskodawca przeprowadził szereg prac przygotowawczych mających na celu określenie wstępnych wymagań funkcjonalnych i parametrycznych proponowanego systemu. Poniżej przedstawiono wyniki prac przygotowawczych oraz narzędzia wykorzystane do ich przeprowadzenia.

1. Kamera i obiektyw

- Kamera z przetwornikiem Sony IMX183
- Obiektyw o ogniskowej 50mm f/1.8
- Parametry pola widzenia i zasięgu gwiazdowego wyznaczone na podstawie zapisu ramek testowych

2. Parametry pola widzenia pojedynczej kamery

- Pole widzenia 15 x 9.3 stopnia
- Rozdzielczość 5472 x 3648 pikseli
- Skala obrazu 0.00781 stopnia/piksel ( $0.46875' = 28.125''$ )
- Zasięg gwiazdowy +9.5 m

3. Jedna stacja obserwacyjna – proponowana konfiguracja dla sieci składającej się z czterech stacji.

- Pojedyncze urządzenie posiada 6 jednakowych kamer i obiektywów
- Pola kamer ułożone są dłuższym bokiem równolegle do horyzontu
- Pola kamer ułożone są jedno nad drugim stykając się dłuższymi bokami
- 6 pól umieszczonych jedno nad drugim daje łączne pole 15x56 stopni zorientowane pionowo

4. Plan sieci detekcyjnej – jedna z rozpatrywanych wersji

- Sieć składa się z czterech stacji - dwóch zewnętrznych, głównych (N i S) oraz dwóch pomocniczych bliżej obu końców sieci (NN i SS)
- Stacje ułożone są południkowo - inne ich rozmieszczenie może utrudnić lub wręcz uniemożliwić triangulację satelitów z dwóch lokalizacji. Idealna lokalizacja zapewnia zbliżone momenty wschodu i zachodu Słońca
- Stacje mogą znajdować się na umiarkowanych bądź niskich szerokościach geograficznych. Rozmieszczenie sieci zbyt blisko biegunów będzie powodować długotrwałe przerwy w obserwacjach (brak ciemnego nieba w pewnych okresach). Jednocześnie
- Zbyt dalekie położenie w stronę biegunów ogranicza zakres obserwowanych orbit
- Ze względu na optymalną geometrię obserwacji dla orbit LEO przyjęto odległość między stacjami skrajnymi jako 1600km oraz odległości N-NN i S-SS równe 400km
- Główna para stacji (N-S) pozwoli na efektywne wykrywanie obiektów praktycznie w całym zakresie orbit LEO, do wysokości 2000 kilometrów
- Pomocnicze stacje na krańcach sieci pozwolą poprawić wykrywalność i precyzję dla niższych orbit LEO

5. Własności sieci symulowanej

a) Baza skrajna 1600 km

Wysokość	Odległość	Zasięg SAT	Rozmiar graniczny	Precyzja
----------	-----------	------------	-------------------	----------

2000 km	2100 km	+8.5	1.2 m	296 m
1300 km	1300 km	+8.0	0.8 m	181 m
500 km	960 km	+7.7	0.8 m	148 m
200 km	850 km	+7.6	0.7 m	138 m

b) Bazy wewnętrzne 400 km

Wysokość	Odległość	Zasięg SAT	Rozmiar graniczny	Precyzja
500 km	520 km	+7.0	0.65 m	72 m
350 km	400 km	+6.7	0.50 m	54 m
200 km	280 km	+6.3	0.40 m	40 m

**Oznaczenia:**

Stacja północna skrajna            N  
 Stacja północna wewnętrzna    NN  
 Stacja południowa wewnętrzna SS  
 Stacja południowa                S

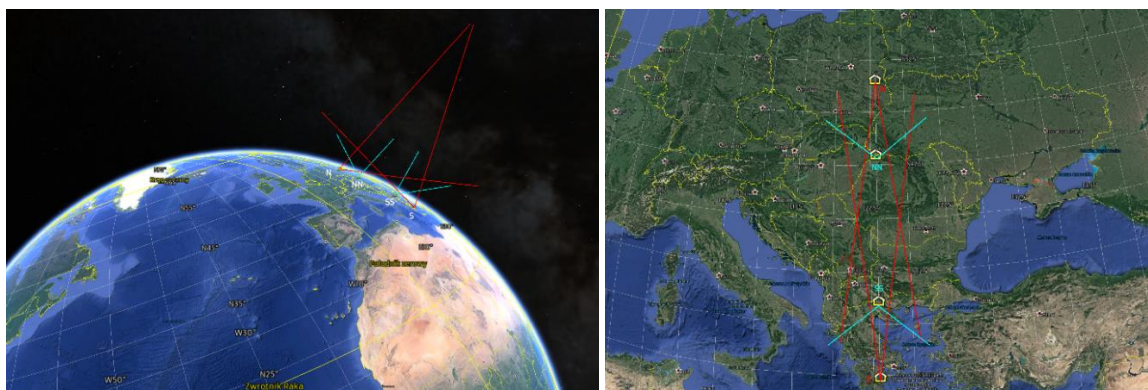
**Odległości:**

N-S - 1600km  
 N-NN oraz SS-S - 400km

**Pola widzenia** (sumaryczne, podane współrzędne horyzontalne środka)

N     15x56            Alt = 45 Az = 180  
 NN    15x56            Alt = 60 Az = 0  
 SS    15x56            Alt = 60 Az = 180  
 S     15x56            Alt = 45 Az = 0

*Rysunek 1: Lokalizacje symulowanej sieci składającej się z czterech stacji.*

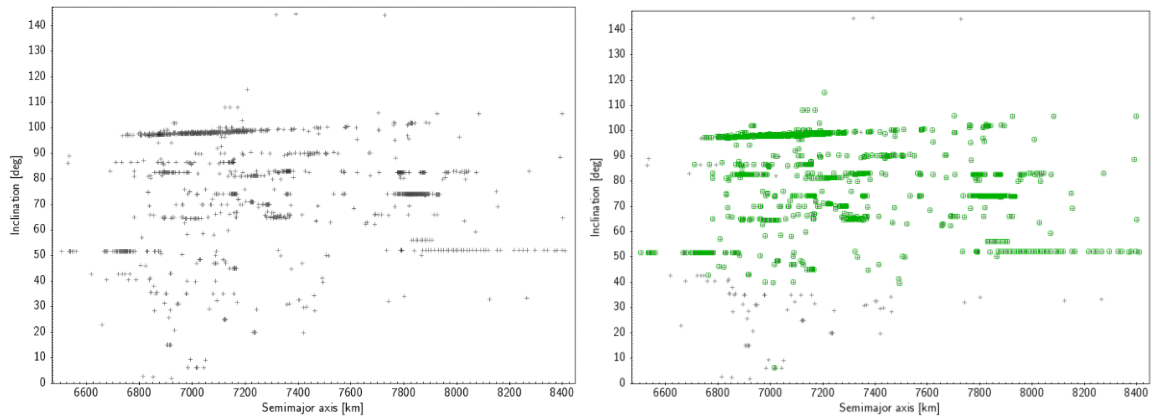


*Źródło: Opracowanie własne CILIUM ENGINEERING sp. z o.o., wrzesień 2019 r.*

6. Wyniki symulacji

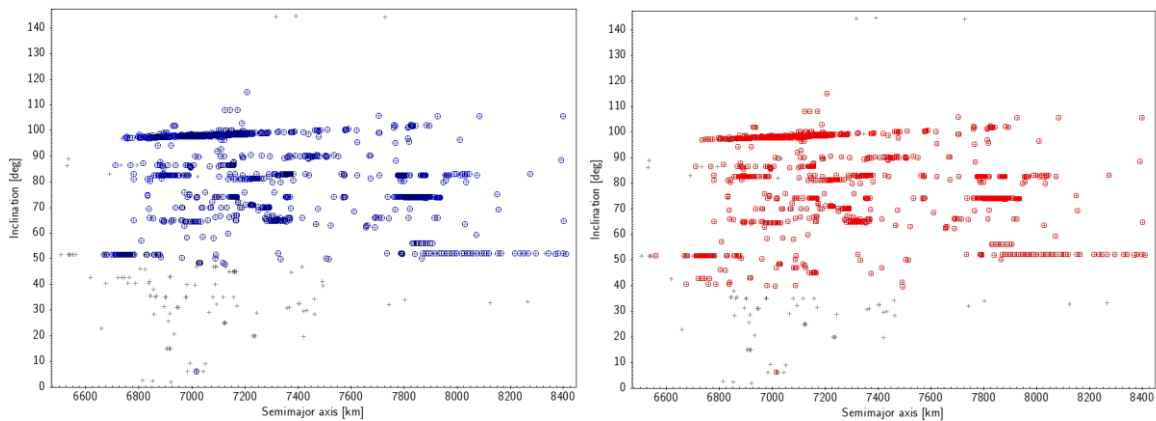
Wyniki symulacji przedstawiono na wykresach poniżej. O ile nie podano inaczej, dotyczą rocznej symulacji sieci składającej się z czterech stacji obserwacyjnych zgodnie opisem powyżej.

Rysunek 2: Nachylenie i półoś wielka orbity dla wejściowego katalogu LEO użytego do symulacji (lewy wykres). Złożenie katalogu wejściowego LEO z satelitami wykrytymi przez stacje N-S (prawy wykres).



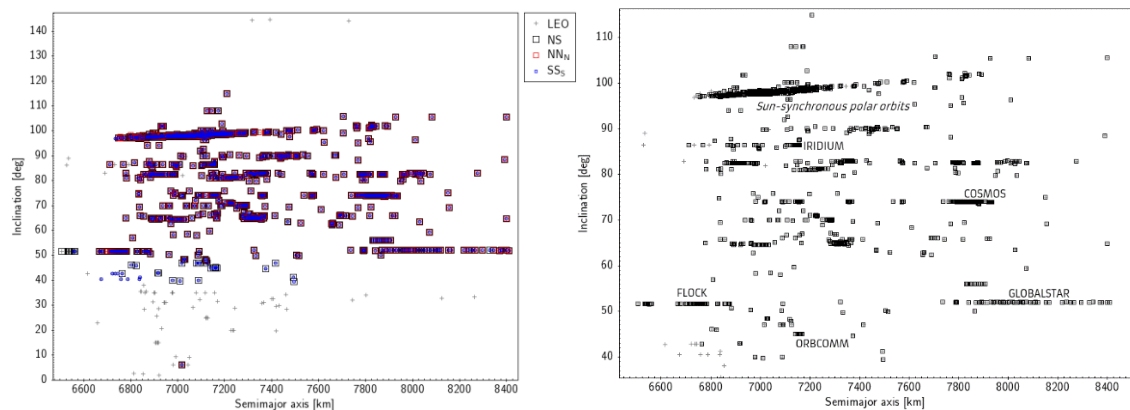
Źródło: Opracowanie własne CILIUM ENGINEERING sp. z o.o., wrzesień 2019 r.

Rysunek 3: Złożenie katalogu wejściowego LEO z satelitami wykrytymi przez stacje N-NN (lewy wykres). Złożenie katalogu wejściowego LEO z satelitami wykrytymi przez stacje S-SS (prawy wykres).



Źródło: Opracowanie własne CILIUM ENGINEERING sp. z o.o., wrzesień 2019 r.

Rysunek 4: Złożenie wszystkiego - bazy N-S, NN-N, SS-S oraz katalogu wejściowego. Wykrywane jest prawie wszystko z inklinacją powyżej 37.5 stopni. Wykrycia w ciągu jednego roku uniknęło 6 satelitów z 2686 symulowanych na inklinacjach powyżej 37 stopni (lewy wykres). Najważniejsze grupy satelitów, kwadraty to wyniki obserwowane, krzyżyki to dane wejściowe z TLE (prawy wykres).



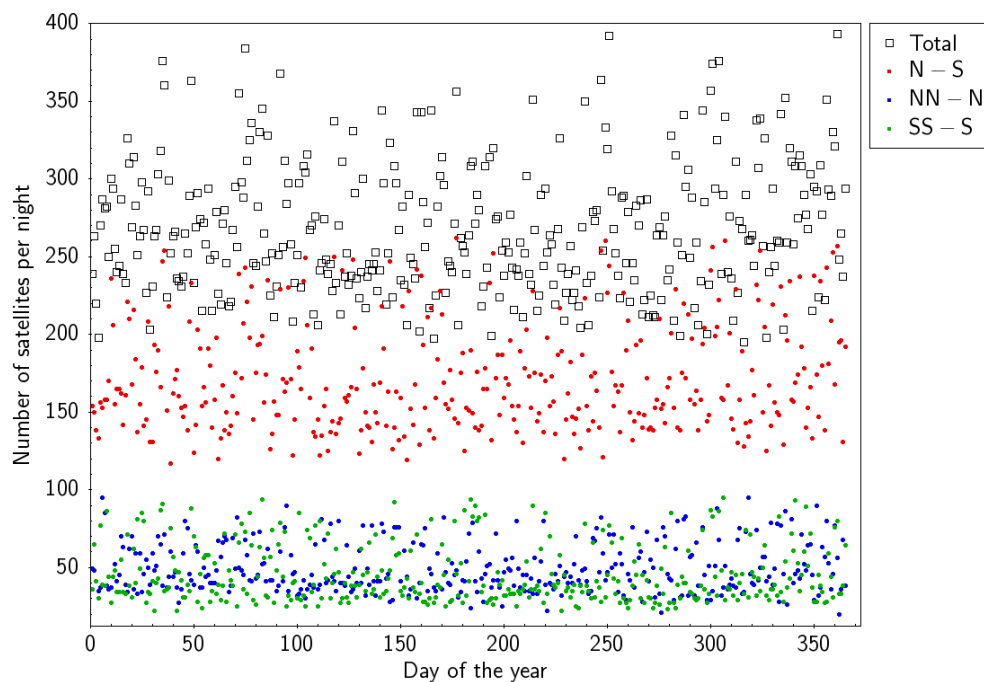
Źródło: Opracowanie własne CILIUM ENGINEERING sp. z o.o., wrzesień 2019 r.



Sprawdzona została ilość obserwowanych satelitów (bez powtórzeń, jeśli satelita był widoczny więcej niż jeden raz w ciągu nocy).

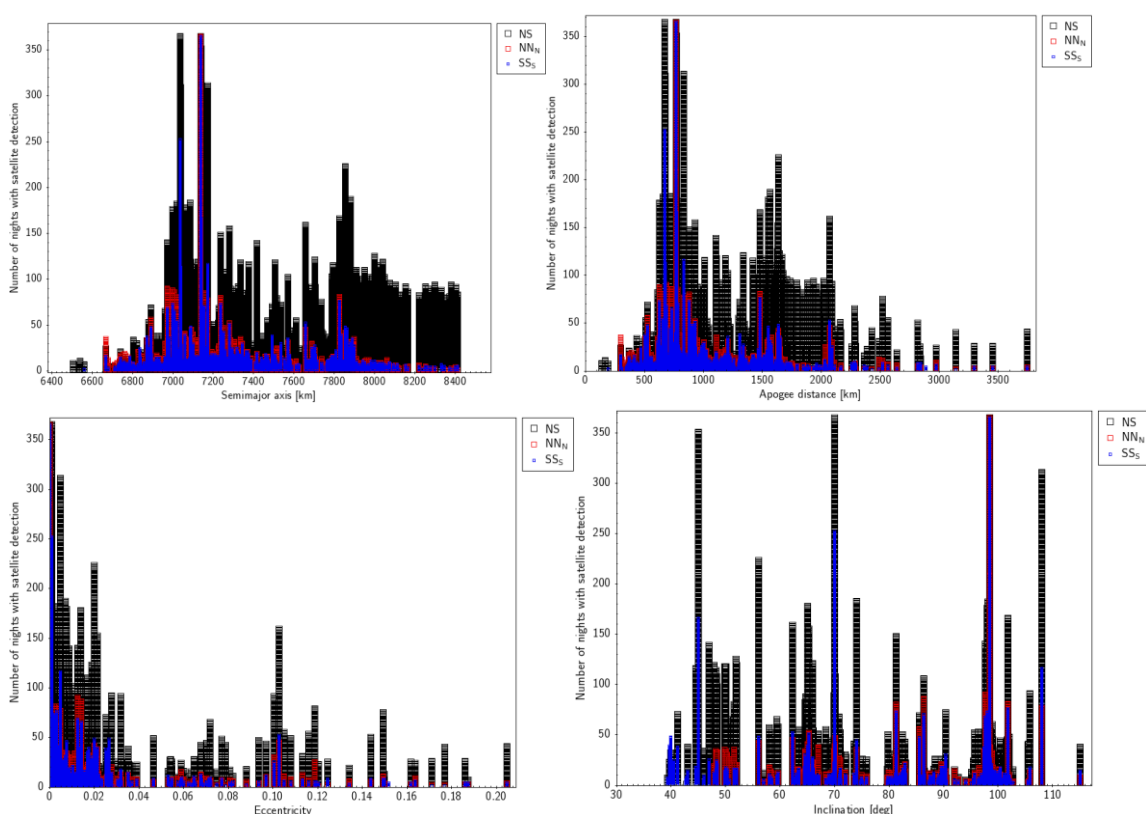
- Skuteczność sieci utrzymuje się na podobnym poziomie w ciągu całego roku
- Większa część obiektów obserwowana jest przez parę kamer zewnętrznych N-S, para ta rejestruje przeciętnie od 130 do 250 satelitów każdej nocy
- Pary zewnętrzne rejestrują dodatkowo po około 30-70 satelitów
- Na wykresie widać dobrze zaznaczony minimalny poziom skuteczności - jest on generowany przez satelity o umiarkowanych nachyleniach które pojawiają się w obszarze działania sieci dość często.
- Prezentowane ilości to ilości teoretyczne wygenerowane z symulacji z tłem zawierającego 2686 obiektów LEO. Skuteczność rzeczywista określona obserwacyjnie wynosi 73% (porównanie obiektów obserwowanych w lutym 2019 z obiektami generowanymi dla tego samego pola, zawartymi w katalogu LEO)

Rysunek 5: Liczba satelitów obserwowanych przez symulowaną sieć każdego dnia roku.



Źródło: Opracowanie własne CILIU ENGINEERING sp. z o.o., wrzesień 2019 r.

Rysunek 6: Roczny rozkład obserwowalności satelitów dla poszczególnych parametrów orbitalnych.



Źródło: Opracowanie własne CILIUM ENGINEERING sp. z o.o., wrzesień 2019 r.

## 7. Megakonstelacja Starlink

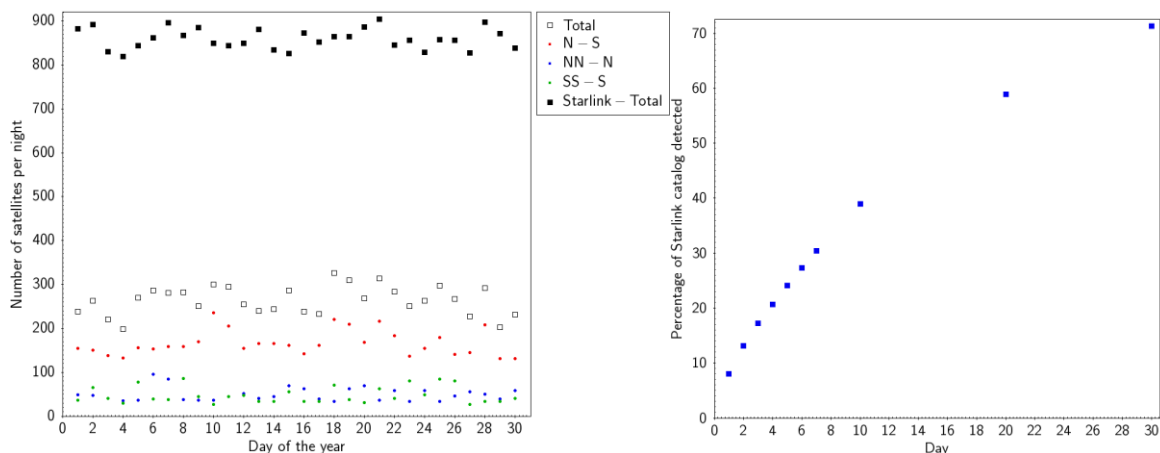
W najbliższych latach znacznie wzrośnie liczba satelitów na orbitach LEO. W Tabeli 1 przedstawiono parametry populacji Starlink.

Tabela 1: Symulowane orbity konstelacji Starlink.

Wysokość orbity [km]	Inklinacja [deg]	Liczba satelitów na danej orbicie
335.9	42	1584
340.8	48	2478
345.6	53	2547
550	53	1584
1110	53.8	1600
1130	74	400
1275	81	375
1325	70	450
Całkowita liczba satelitów		11018

Źródło: [https://en.wikipedia.org/wiki/Starlink\\_\(satellite\\_constellation\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Starlink_(satellite_constellation)), wrzesień 2019 r.

Rysunek 7: Wyniki symulacji dla obecnego katalogu LEO rozszerzonego o sieć Starlink (lewy wykres). Procent obserwowanych obiektów całej konstelacji Starlink w ciągu 30 dni (prawy wykres).



Źródło: Opracowanie własne CILIUM ENGINEERING sp. z o.o., wrzesień 2019 r.

#### Podsumowanie:

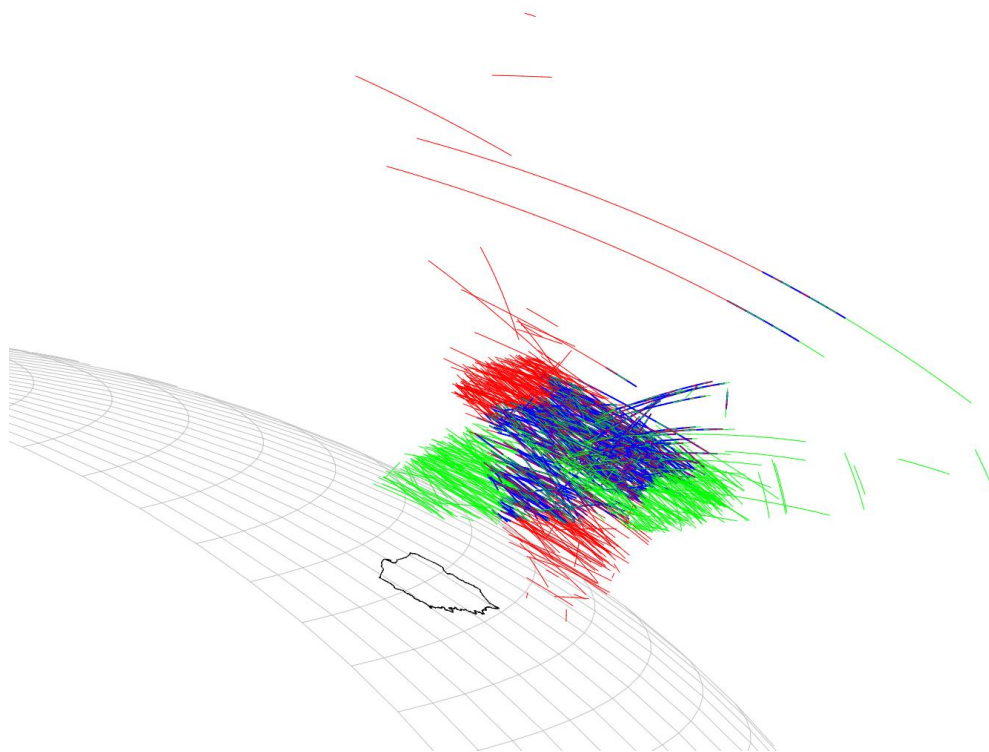
Przeprowadzona przez wnioskodawcę analiza pokazuje jak duży jest potencjał dostarczania danych obserwacyjnych już teraz oraz jak dobrze zaprojektowany system może skutecznie monitorować megakonstelacje satelitarne w nadchodzących latach. Proponowane w niniejszym wniosku badania mają na celu zweryfikowanie postawionych tez za pomocą prototypowych urządzeń oraz opracowanie narzędzi pozwalających na przetwarzanie i konsumowanie danych.

#### Aktualny stan badań

Firma Cilium zrealizowała projekt OmniSky dla Europejskiej Agencji Kosmicznej, którego celem było zaprojektowanie stacji do obserwacji zjawisk deorbitacji satelitów. W ramach projektu przeprowadzono szereg symulacji i analiz, które pozwoliły na opracowanie wstępnej koncepcji projektu. Proponowane w niniejszym projekcie innowacje produktowe i procesowe czerpią ze zdobytego doświadczenia i dzięki niemu i pozwolą przejść z poziomu II na poziom VI w skali gotowości technologii.

Przeprowadzono symulacje obserwowalności satelitów za pomocą proponowanej w niniejszym wniosku sieci prototypowej OpticalFencePL. Wyniki potwierdzają słuszność koncepcji oraz przyjętych wstępnych założeń i wymagań dotyczących opracowanego systemu.

Rysunek 8: Wyniki symulacji. Analiza obserwowalności satelitów na orbitach LEO nad terytorium Polski za pomocą dwóch stacji obserwacyjnych (przyjęto komponenty zgodne z opisem). Kolorem czerwonym oznaczono tracklety zaobserwowane przez stację południową, kolorem zielonym tracklety zaobserwowane przez stację północną. Kolorem niebieskim oznaczono te tracklety, które zostały zaobserwowane za pomocą dwóch stacji jednocześnie – ich liczba wynosi 344. Symulacje przeprowadzono dla nocy z 1 na 2 marca 2018 roku.



Źródło: Opracowanie własne CILIUM ENGINEERING sp. z o.o., 2.03.2018 r.

Do przeprowadzenia proponowanych prac badawczych wybrane zostały komponenty sprzętowe oraz zidentyfikowano wstępne wymagania dotyczące oprogramowania, aby zapewnić operacyjność w kontekście programów SSA/SST i EU SST<sup>1</sup>.

#### **Proponowany zakres projektu badawczego**

1. Ustalenie wymagań i metod ich weryfikacji.
2. Projekt stacji, przygotowanie pełnego symulatora.
3. Budowa dwóch mobilnych stacji i ich instalacja testowa.(baza ok. 1000-1500 km).
4. Wytworzenie oprogramowania do zarządzania stacją i narzędzi do agregacji danych.

---

<sup>1</sup> Space Situational Awareness (SSA) jest programem, którego zadaniem jest ostrzeganie i zapobieganie zagrożeniom dla wokółziemskiej infrastruktury satelitarnej związanym z oddziaływaniem na nią środowiska kosmicznego i tzw. śmieci kosmicznych.

Space Surveillance and Tracking (SST) to działania będące podzbiorem SSA, których celem jest śledzenie istniejących i poszukiwanie nieskatalogowanych obiektów.

EU SST - konsorcjum państw europejskich, które biorą udział w programach dotyczących SSA/SST finansowanych przez Komisję Europejską.

## 5. Weryfikacja działania sieci.

Zakres prac badawczych dotyczy badań przemysłowych i prac rozwojowych, zgodnie z definicją zawartą w Rozporządzeniu Komisji (UE) nr 651<sup>2</sup>.

Na dzień dzisiejszy koszt przeprowadzenia prac badawczych (2 297,13 tys. zł) przekracza możliwości finansowe przedsiębiorstwa, natomiast odkładanie w czasie planów badawczych jest obarczone dużym ryzykiem, z uwagi na konkurencyjność rynku. Alternatywą na sfinansowanie badań są natomiast środki publiczne na B+R. W wyniku analizy dostępnych źródeł finansowania, właściciele firmy podjęli decyzję o pozyskaniu środków na ten cel z Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Kujawsko-Pomorskiego na lata 2014-2020, w ramach Poddziałania 1.3.1 Wsparcie procesów badawczo-rozwojowych w przedsiębiorstwach akademickich, Schemat 2: Prowadzenie prac badawczo-rozwojowych w przedsiębiorstwach odpryskowych. Schemat ten wpisuje się wprost w obecne potrzeby rozwojowe przedsiębiorstwa.

Niniejsza agenda badawcza przedstawia potrzeby firmy CILIUM w zakresie badań i rozwoju. Dokument odnosi się do wizji rozwoju firmy w zakresie rozwoju technologii, usług i produktów. Dokument definiuje zadania, jakie należy podjąć, aby osiągnąć wizję docelową oraz ryzyka, w celu ich minimalizacji w ramach zaplanowanych działań.

## 2. Infrastruktura badawcza

Wnioskodawca, jako start up, posiada na terenie województwa kujawsko-pomorskiego siedzibę, która mieści się w Business Link TIT przy ul. Łokietka 5 w Toruniu. W ramach zawartej w dniu 05.03.2014 r. umowy z Operatorem - Fundacją Akademickie Inkubatory Przedsiębiorczości z siedzibą w Warszawie - Cilium ma dostęp do przestrzeni biurowej wyposażonej w środki trwałe umożliwiające sprawne zarządzanie i administrowanie projektem, natomiast nie posiada zasobów technicznych (laboratorium) do prowadzenia badań.

Z uwagi na powyższe, na potrzeby realizacji projektu badawczego, zostanie wynajęte laboratorium. Planuje się wynajęcie laboratorium w Centrum Astronomicznym im. Mikołaja Kopernika Polskiej Akademii Nauk (CAMK) w Toruniu. CAMK to wiodący polski instytut naukowy w zakresie astronomii i astrofizyki, w którym prowadzone są badania obserwacyjne i teoretyczne w zakresie: astrofizyki gwiazd; układów gwiazd i materii wokółgwiazdowej; fizyki materii gęstej; procesów fizycznych wokół gwiazd neutronowych i czarnych dziur z uwzględnieniem procesów akrecji; struktury i ewolucji aktywnych galaktyk; kosmologii oraz poszukiwania pozasłonecznych układów

---

<sup>2</sup> Badania przemysłowe oznaczają badania planowane lub badania krytyczne mające na celu zdobycie nowej wiedzy oraz umiejętności celem opracowania nowych produktów, procesów lub usług, lub też wprowadzenia znaczących ulepszeń do istniejących produktów, procesów lub usług. Uwzględniają one tworzenie elementów składowych systemów złożonych i mogą obejmować budowę prototypów w środowisku laboratoryjnym lub środowisku interfejsu symulującego istniejące systemy, a także linii pilotażowych, kiedy są one konieczne do badań przemysłowych, a zwłaszcza uzyskania dowodu w przypadku technologii generycznych (Rozporządzenie Komisji (UE) nr 651/2014 z dnia 17 czerwca 2014 r. uznające niektóre rodzaje pomocy za zgodne z rynkiem wewnętrznym w zastosowaniu art. 107 i 108 Traktatu (Tekst mający znaczenie dla EOG), Art. 2. pkt. 85).

planetarnych. CAMK PAN jest także właścicielem sieci teleskopów Solaris, które biorą udział w kampaniach obserwacyjnych dotyczących satelitów.

Laboratorium optyczno-mechaniczno-elektroniczne jest wyposażone w niezbędne komponenty do przeprowadzeni prac związanych z projektem:

- profesjonalny stół optyczny,
- narzędzia do prototypowania elektroniki i mechaniki,
- przyrządy pomiarowe - mierniki, oscyloskop,
- stacja robocza.

Laboratorium będzie wynajęte na okres realizacji prac badawczych, zgodnie z zapotrzebowaniem na daną infrastrukturę.

Cilium, na mocy umowy z Centrum Astronomicznym im. M. Kopernika PAN, obecnie posiada dostęp do sieci teleskopów Solaris. Firma świadczy komercyjnie usługę utrzymania technicznego sieci, posiadając tym samym dostęp do surowych danych obserwacyjnych. Dostęp do tej infrastruktury jest niezbędny w celu testowania algorytmów przetwarzania obrazów.

Ponadto firma Cilium posiada licencję na oprogramowanie CAD SolidEdge w najwyższej wersji, które będzie użyte do zaprojektowania stacji obserwacyjnej i przeprowadzenia niezbędnych symulacji. Cilium posiada także niezbędne licencje, gwarantujące dostęp do oprogramowania Microsoft (BizSpark).

### 3. Innowacyjne obszary badawcze

#### 3.1. Cele

##### a. Cel główny:

Przeprowadzenie prac badawczych przez firmę CILIUM ENGINEERING sp. z o.o. w celu komercjalizacji wyników badań w postaci sieci mobilnych stacji OpticalFencePL do trójwymiarowych pomiarów pozycji satelitów, co wpłynie na poprawę konkurencyjności przedsiębiorstwa na rynku światowym.

#### **Uzasadnienie celu** (w kontekście realizacji założeń projektu)

Poprawa konkurencyjności firmy CILIUM na rynku światowym poprzez opracowanie innowacyjnego produktu oraz innowacyjnej usługi nastąpi w wyniku przeprowadzenia badań przemysłowych i prac rozwojowych, które są przedmiotem projektu. Projekt zakłada przeprowadzenie prac badawczych w zakresie opracowania nowej techniki obserwacyjnej, opartej o ideę triangulacji. Rezultatem projektu będzie wprowadzenie do oferty firmy innowacyjnych w skali świata produktu i usługi, co wpłynie na poprawę konkurencyjności przedsiębiorstwa na rynku światowym. Produkt i usługa mogą zostać wprowadzone w 2021 roku jedynie przy wsparciu finansowym na przedmiotowe prace badawcze.

#### **b. Cele szczegółowe:**

1. Opracowanie i wdrożenie innowacyjnej w skali świata stacji obserwacyjnej OpticalFencePL.
2. Opracowanie i wdrożenie innowacyjnej w skali świata metody dostarczania danych obserwacyjnych do klientów (trackletów).

### **3.2. Zagadnienia badawcze**

Główne zagadnienia badawcze:

- a. Opracowanie algorytmów wydajnej analizy obrazu na pokładzie mobilnej stacji obserwacyjnej, obejmujących filtrowanie, detekcję obiektów (segmentację) z niskim poziomem stosunku sygnału do szumu ( SNR) (obszar przetwarzania obrazów) - po raz pierwszy na świecie w odniesieniu do zaproponowanej techniki obserwacyjnej (triangulacja)**

Opis zagadnienia badawczego – Edge computing w odniesieniu do sensorów optycznych dla satelitów LEO. Innowacyjność polega na korzystaniu z paradygmatu „Edge computing”, czyli przetwarzaniu dużej ilości danych w obrębie sensora i transfer wysoko przetworzonych danych do serwisów, w których następuje integracja danych i wytworzenie wyniku końcowego. Stopień innowacyjności ze względu na aplikację jest wysoki w odniesieniu do rynku europejskiego i światowego

- b. Opracowanie narzędzi służących do wyznaczania orbit satelitów na orbitach LEO na podstawie danych z dwóch lub więcej stacji obserwacyjnych obserwujących wybraną przestrzeń trójwymiarową (obszar obserwacji satelitów) za pomocą niedrogich stacji obserwacyjnych - po raz pierwszy na świecie**

Opis zagadnienia badawczego – triangulacja LEO. Innowacyjność polega na zastosowaniu techniki triangulacji w obserwacjach satelitów (jednoczesny pomiar pozycji satelity z dwóch lub więcej miejsc gwarantujących optymalny kąt przecięcia kierunków patrzenia). Stopień innowacyjności jest bardzo wysoki w odniesieniu do rynku europejskiego i światowego.

- c. Monitorowanie przestrzeni 3D nad obszarem znajdującym się między stacjami obserwacyjnymi (obszar mobilności) - po raz pierwszy na świecie**

Opis zagadnienia badawczego – projekt i budowa stacji OpticalFence. Z założenia stacje obserwacyjne są mobilne, a zatem umożliwiają ukierunkowanie na różne zakresy obserwowanych wysokości orbitalnych. Mobilność pozwala także na łatwą relokację stacji i instalację ich w wybranych lokalizacjach uzasadnionych wymaganiami operacyjnymi (np. wojsko). Stopień innowacyjności jest wysoki w odniesieniu do rynku europejskiego i światowego.

Etapy i okres realizacji:

Czas trwania badań: 18 miesięcy, 9 etapów (pakietów z zadaniami)

Etapy projektu (work packages, WP), zakres w miesiącach.

#### **WP-0: Wybór podwykonawców**

Rozpoczęcie: 1

Zakończenie: 2

Czas trwania: 2

### **WP-1: Projekt stacji**

Rozpoczęcie: 1

Zakończenie: 6

Czas trwania: 6

Zakres prac prowadzonych w tym etapie: w ramach WP-1 wykonany zostanie **szczegółowy projekt stacji**. Projekt obejmował będzie dobór komponentów gotowych i zaprojektowanie elementów tworzonych na zamówienie (elementów mechanicznych i elektronicznych). Wynikiem tego etapu będzie dokumentacja techniczna (mechaniczna i elektryczna) pozwalająca w dalszym etapie wyprodukować stację zgodnie z projektem wykonawczym. W ramach tego etapu zostanie także zaprojektowanie oprogramowania pokładowe stacji obserwacyjnej: mechanizmy akwizycji danych z kamer i ich sterowania, komunikacja pokładowa, komunikacja z serwisami, procedury kalibracyjne, oprogramowanie systemu lokalizacji GPS, przetwarzanie danych obrazowych i telemetrycznych, systemy bezpieczeństwa i akwizycji danych z czujników. Zadania:

WP-1-T1: Projekt mechaniczny

WP-1-T2: Projekt elektryczny

WP-1-T3: Projekt oprogramowania pokładowego

WP-1-T4: Implementacja oprogramowania pokładowego – faza pierwsza

### **WP-2: Projekt oprogramowania**

Rozpoczęcie: 2

Zakończenie: 6

Czas trwania: 5

Zakres prac prowadzonych w tym etapie: w ramach WP-2 powstanie szczegółowy projekt oprogramowania do agregacji danych. Etap będzie realizowany równolegle z WP-1 aby móc na bieżąco uzgadniać szczegóły techniczne obejmujące komunikację między stacją a serwisem. Projekt oprogramowania obejmie: mechanizmy komunikacji, przetwarzanie danych uzyskanych od stacji obserwacyjnej (segmentacja obrazu, procedury astrometryczne, procedury fotometryczne obliczanie orbit). Zadania:

WP-2-T1: Projekt interfejsów komunikacyjnych

WP-2-T2: Projekt przepływu danych

WP-2-T3: Projekt modułu do przetwarzania obrazów

WP-2-T4: Projekt modułu astrometrycznego

WP-2-T5: Projekt modułu fotometrycznego

WP-2-T6: Projekt modułu orbitalnego

WP-2-T7: Projekt interfejsu użytkownika, systemu autentykacji i mechanizmów wdrożeniowych i aktualizacyjnych.



### **WP-3: Budowa i uruchomienie stacji**

Rozpoczęcie: 7

Zakończenie: 13

Czas trwania: 7

Zakres prac prowadzonych w tym etapie: w ramach tego etapu zbudowane zostaną dwie stacje obserwacyjne. Równoległe powstanie oprogramowanie pokładowe. Współpraca oprogramowania ze sprzętem będzie na bieżąco monitorowana. Uruchomienie stacji nastąpi najpierw w przestrzeni laboratoryjnej gdzie zweryfikowane zostanie działanie poszczególnych komponentów, a potem w warunkach zewnętrznych, tzn. z widokiem na niebo – wówczas nastąpi weryfikacja działania układów w przestrzeni docelowej.

WP-3-T1: Zamówienie komponentów

WP-3-T2: Implementacja oprogramowania pokładowego – faza druga

WP-3-T3: Integracja komponentów stacji

WP-3-T4: Uruchomienie stacji

WP-3-T5: Weryfikacja działania podzespołów stacji w warunkach laboratoryjnych

WP-3-T6: Weryfikacja działania podzespołów stacji w warunkach zewnętrznych

WP-3-T7: Testy komunikacji

### **WP-4: Implementacja oprogramowania**

Rozpoczęcie: 7

Zakończenie: 13

Czas trwania: 7

Zakres prac prowadzonych w tym etapie: w ramach tego etapu zaimplementowane zostanie oprogramowanie do agregacji wyników zgodnie z projektem opracowanym w WP-2. Zadania:

WP-4-T1: Implementacja interfejsów komunikacyjnych

WP-4-T2: Implementacja modułu do przetwarzania obrazów

WP-4-T3: Implementacja modułu astrometrycznego

WP-4-T4: Implementacja modułu fotometrycznego

WP-4-T5: Implementacja modułu orbitalnego

WP-2-T7: Implementacja interfejsu użytkownika, systemu autentykacji i mechanizmów wdrożeniowych i aktualizacyjnych.

### **WP-5: Instalacja stacji**

Rozpoczęcie: 14

Zakończenie: 16

Czas trwania: 3

Zakres prac prowadzonych w tym etapie: w ramach tego etapu zainstalowane zostaną dwie stacje obserwacyjne w lokalizacjach pozwalających na weryfikację poprawności ich działania. Zadania:

WP-5-T1: Instalacja stacji w miejscu testów

WP-5-T2: Kalibracja stacji i weryfikacja działania w miejscu instalacji

WP-5-T3: Zapewnienie bezpieczeństwa stacji w czasie testów

### **WP-6: Weryfikacja**

Rozpoczęcie: 17

Zakończenie: 18

Czas trwania: 2

Zakres prac prowadzonych w tym etapie: w ramach tego etapu prowadzone będą obserwacje testowe za pomocą dwóch stacji obserwacyjnych. Obserwacje pozwolą na weryfikację poprawności działania metody pomiarowej. Zadania:

WP-6-T1: Przeprowadzenie testowej kampanii obserwacyjnej

WP-6-T2: Wyznaczenie uzyskiwanej precyzji pozycji dla różnych wysokości orbitalnych poprzez korelację z katalogiem

WP-6-T3: Bieżące aktualizacje oprogramowania pokładowego na podstawie wyników testów

WP-6-T4: Utrzymanie stacji w działaniu poprzez nadzór i serwisowanie

### **WP-7: Administracja** – etap wspomagający proces badawczy

Rozpoczęcie: 1

Zakończenie: 18

Czas trwania: 18

Zakres prac prowadzonych w tym etapie: prowadzenie projektu, zarządzanie zasobami, księgowość, rozliczenia, spedycja, wynagrodzenia.

WP-7-T1: Prowadzenie projektu, nadzór nad pracownikami i podwykonawcami

WP-7-T2: Księgowość

WP-7-T3: Kadry

WP-7-T4: Zamówienia i magazyn

WP-7-T5: Obsługa prawno-administracyjna

### **WP-8: Komercjalizacja**

Rozpoczęcie: 19

Zakończenie: 54

Czas trwania: 36

Zakres prac prowadzonych w tym etapie: Komercjalizacja wyników badań

WP-8-T1: Uszczegółowienie procesu komercjalizacji po uzyskaniu wstępnych wyników badań.

WP-8-T2: Nawiązanie i utrzymanie kontaktów biznesowych z potencjalnymi odbiorcami.

WP-8-T3: Zaangażowanie w rozwój sektora SST w Polsce i w regionie.

WP-8-T4: Sprzedaż produktów i usług.

### **Podsumowanie**

W wyniku prac badawczych zostanie opracowany nowy produkt i nowa usługa – innowacyjne w skali świata:

1. Stacja obserwacyjna OpticalFencePL – produkt,
2. Dostarczanie danych obserwacyjnych do klientów (trackletów) - usługa.

Prace badawcze umożliwią przejście z poziomu gotowości technologicznej II na poziom VII. Opracowane prototypy będą przetestowane w warunkach zbliżonych do rzeczywistych – praca stacji będzie bezpośrednio nadzorowana przez pracowników Cilium przez czas prowadzonych w terenie badań. Ze względu na specyfikę urządzenia, nie ma możliwości przebadania go w warunkach symulacyjnych lub laboratoryjnych – niezbędne są pomiary wykonywane na niebie. Dalsze prace nad prototypem, nie objęte niniejszą agendą, będą wymagały długoterminowej pracy stacji bez nadzoru człowieka – będą to już testy w warunkach zbliżonych do operacyjnych.

## **4. Założenia dotyczące procesu komercjalizacji wyników badań przemysłowych**

Komercjalizacja ww. produktu i usługi, to niezbędny etap procesu innowacji, obejmujący działania, których efektywna realizacja wymaga zastosowania adekwatnych narzędzi i mechanizmów. Jej celem jest przeniesienie wyników powyższych badań na rynek.

Przedmiotem komercjalizacji badań przemysłowych będzie produkt - Stacja obserwacyjna OpticalFencePL oraz usługa - Dostarczanie danych obserwacyjnych do klientów (trackletów).

### **Sposób komercjalizacji wyników badań**

Komercjalizacja wyników prac badawczych nastąpi poprzez włączenie do oferty firmy nowego produktu i nowej usługi:

1. Stacja obserwacyjna OpticalFencePL – produkt,
2. Dostarczanie danych obserwacyjnych do klientów (trackletów) – usługa.

Komercjalizacja wypracowanych rozwiązań jest możliwa na dwa sposoby:

1. Sprzedaż stacji obserwacyjnych.
2. Sprzedaż danych obserwacyjnych.

Za komercjalizację będzie odpowiadał Wnioskodawca.

### **Opłacalność**

Jak już wyżej wspomniano, na orbicie okołoziemskiej znajduje się ok. 600 000 obiektów o rozmiarze większym niż 1 cm. Około 16 000 z nich to obiekty o rozmiarze przekraczającym 10 cm. Amerykańska baza danych NORAD udostępnia informacje o orbitach ok. 17 200 obiektów, najmniejsze z nich mają liniowy rozmiar ok. 10 cm, a tylko część z nich to aktywne satelity. 95%

obiektów będących na orbicie okołoziemskiej to śmieci kosmiczne. Śledzeniem i katalogowaniem obiektów będących na orbicie zajmują się instytucje rządowe, wojskowe i prywatne firmy na całym świecie. Niemal wszystkie obiekty nie będące aktywnymi satelitami nie mogą być w żaden sposób sterowane z Ziemi. Podobnie duża część aktywnych satelitów jest pozbawiona tej możliwości. Oznacza to, że ich orbity stale się zmieniają i wymagają ciągłego monitorowania.

Zapotrzebowanie na rezultaty prac badawczo-rozwojowych można podzielić na dwie kategorie:

1. Zapotrzebowanie na wydajne, mobilne stacje obserwacyjne służące do obserwacji przestrzeni nad wybranym obszarem. W tym wypadku badania przemysłowe dotyczą technik wizyjnych i pomiarowych, które pozwolą na detekcję obiektów o określonej jasności poruszających się z określoną prędkością na tle gwiazd. Powiązanie metod obliczeniowych ze starannie dobranym sprzętem pozwoli stworzyć nową jakość.
2. Zapotrzebowanie na dane pomiarowe (tracklety) pozycji satelitów w czasie. Dane pomiarowe w postaci trackletów są danymi wejściowymi do centrów operacyjnych/eksperymentalnych, które gromadzą dane z wielu sensorów, a następnie na ich podstawie wyznaczają orbity satelitów. W przypadku OpticalFencePL uzyskiwane będą tracklety satelitów znajdujących się na niskich orbitach LEO, czyli takich, na których klasyczne obserwacje teleskopami są mało wydajne.

Potencjalni klienci:

1. Wojsko – armię interesuje co i kiedy przelatuje nad terytorium Rzeczypospolitej Polskiej. Stosowane techniki radarowe nie pozwalają na monitorowanie niskich orbit, proponowany sprzęt już tak. Do zastosowań wojskowych potencjalnie interesujący byłby zakup sieci składającej się z kilku stacji, a oprogramowanie byłoby wdrożone na infrastrukturze wojskowej. Koszt dwóch stacji: ok. 368 tys. zł netto. Realne pokrycie 1/3 terytorium Polski wymagałoby ok. 10 stacji. Istotną będącym optymalizacja ich rozmieszczenia i dostosowania do potrzeb wojskowych.
2. Centra operacyjne i centra eksperckie – w związku z planowanym wejściem Polski do konsorcjum EU-SST, wzrośnie zapotrzebowanie na dostarczanie przetworzonych danych do monitorowania ruchu orbitalnego. Aktualnie, szacunkowa cena surowych obserwacji teleskopem wynosi 50-100 Euro/godzinę. Zakładając, że raz na dwie minuty można zaobserwować przelot jednego satelity, można przyjąć, że jeden przelot (tracklet) jest wart 2 Euro. Symulacje dwóch stacji OpticalFencePL pokazują, że możliwe jest zaobserwowanie 344 w ciągu jednej nocy. W zależności od typu obserwowanego obiektu, jego prędkości i rodzaju orbity, cena za jeden tracklet może być kilka razy mniejsza lub kilka razy większa. Koszty utrzymania pary stacji to ok. 49,5 tys. zł rocznie (głównie infrastruktura chmurowa). Warto tu zwrócić uwagę, że dodanie kolejnych stacji do sieci spowoduje proporcjonalny wzrost liczby obserwowanych satelitów, a koszt utrzymania będzie prawie niezmienny (koszt infrastruktury chmurowej jest stały do ok. 50 stacji).
3. Operatorzy satelitów – sprzedaż danych jak wyżej. W najbliższych latach liczba satelitów na niskich orbitach (1000 – 2000 km) wzrośnie o rząd wielkości. Obecnie mamy ok. 1 400 aktywnych satelitów, a planowane megakonstelacje liczone są w tysiącach sztuk.

4. Firmy ubezpieczeniowe – sprzedaż danych, jak wyżej. Rynek nowy, niezbadany, brak jasnych przepisów.

Prognoza przychodów:

1. Sprzedaż stacji obserwacyjnych - w przypadku dwóch stacji i marży 20%, koszt wyniesie 368 tys. zł netto, włączając w to roczne utrzymanie oprogramowania.
2. Sprzedaż danych obserwacyjnych. Dwie stacje są w stanie zaobserwować ok. 344 trackletów w ciągu jednej pogodnej nocy (symulacja dla 1 marca 2018 r.). Przyjmując wartość jednego trackleta na poziomie 8 zł i wydajność wynikającą z pogody na poziomie 41% (wynik analiz na podstawie zdjęć satelitarnych, podejście konserwatywne), roczna sprzedaż może wynieść 288 286 zł przy kosztach utrzymania ~~12 tys. Euro~~ 49 560 zł rocznie, co daje ok. 239 tys. zysku. Zysk ze sprzedaży będzie inwestowany w budowę kolejnej pary stacji. Warto zwrócić uwagę, że długość nocy nie ma większego wpływu na wydajność. Najwięcej trackletów satelitów na niskich orbitach rejestruje się tuż po zachodzie Słońca i tuż przed jego wschodem. Poza tym okresem satelity na orbitach LEO znajdują się w cieniu Ziemi.

Odbiorcami stacji obserwacyjnych mogą być: instytucje rządowe (2-6 podmiotów), wojskowe (4-6 podmiotów), instytucje naukowo-badawcze (4-6 podmiotów).

Odbiorcami danych pomiarowych (tracklety) pozycji satelitów w czasie mogą być instytucje rządowe, wojskowe oraz operatorzy satelitów. Szacuje się sprzedaż danych poziomie 100 tys. Euro rocznie z dwóch stacji obserwacyjnych.

W związku z powyższą analizą prognozuje się, że nowymi produktami/usługami, które powstaną w wyniku przeprowadzenia prac badawczych będzie zainteresowanych kilkunastu potencjalnych klientów.

Szacuje się, że w efekcie komercjalizacji wyników badań firma CILIUM osiągnie w latach 2022-2024 przychody na poziomie ponad 2 189 tys. zł.

## Podsumowanie

Sektor kosmiczny związany z globalnym szerokopasmowym dostępem do internetu rozwija się bardzo dynamicznie. Wiele organizacji prywatnych i publicznych jest zaangażowanych w działania o bardzo szerokim zakresie mającym na celu identyfikację zagrożeń i możliwości ich mitygacji.

Koncepcja przedstawiona w niniejszym projekcie wpisuje się w te mechanizmy. Najnowsze doniesienia

[https://arstechnica.com/information-technology/2019/10/spacex-might-launch-another-30000-broadband-satellites-for-42000-total/?fbclid=IwAR1kNIHDYdaz-JmZQc9pgHgOVxp1kZFI\\_pWisj1Zt4iWNbPAWDdslr46Rjk](https://arstechnica.com/information-technology/2019/10/spacex-might-launch-another-30000-broadband-satellites-for-42000-total/?fbclid=IwAR1kNIHDYdaz-JmZQc9pgHgOVxp1kZFI_pWisj1Zt4iWNbPAWDdslr46Rjk)

pokazują, że wyniki symulacji przedstawione w Agendzie zostały sporządzone na podstawie bardzo konserwatywnego podejścia do liczby potencjalnie obserwowanych obiektów. Jeśli spekulacje się potwierdzą i istotnie przewidywana liczba satelitów w megakonstelacjach będzie wyższa od tej

przyjętej w obliczeniach, wydajność sieci OpticalFencePL będzie jeszcze wyższa niż zakładamy. Przełoży się to na to sukces komercyjny i wywrze wpływ na sektor SSA/SST.

### **Własność intelektualna**

Prawa własności intelektualnej do projektu stacji OpticalFencePL pozostają po stronie Wnioskodawcy. CAMK PAN, jako partner naukowy, może publikować dane dotyczące opracowanych rozwiązań oraz obserwacji obiektów innych niż sztuczne satelity Ziemi.

Prawa własności dotyczące trackletów należą do operatora sieci zbudowanej w ramach projektu, a zatem Wnioskodawcy.

## **5. Rezultaty zaplanowanych prac badawczo-rozwojowych**

W wyniku realizacji prac badawczych zostaną opracowane:

### 1. Innowacje produktowe:

Stacja obserwacyjna składająca się z baterii obiektywów służąca do pomiaru pozycji satelitów na orbicie we współpracy z innymi tego typu stacjami korzystając z techniki triangulacji pomiar w przestrzeni 3D.

### 2. Innowacje procesowe:

Usługa polegająca na dostarczaniu danych o pozycjach satelitów (tracklety) pozyskanych metodą triangulacji. Koszt uzyskania danych jest niższy aniżeli w przypadku klasycznych rozwiązań stosowanych obecnie.

W efekcie przeprowadzenia prac badawczych nastąpi poprawa konkurencyjności przedsiębiorstwa CILIUM na rynku światowym.

## **6. Ryzyka i zagrożenia, które mogą utrudnić lub uniemożliwić osiągnięcie zakładanych rezultatów**

W tabeli poniżej opisano ryzyka/ zagrożenia, które mogą utrudnić osiągnięcie zakładanych rezultatów. Natomiast nie stwierdzono ryzyk, uniemożliwiających osiągnięcie rezultatów.

Analiza ryzyka: ważność (**W**, 1 – niska, 5 – bardzo wysoka); prawdopodobieństwo wystąpienia (**P**, 1 – bardzo niskie, 5 – bardzo wysokie); ryzyko (**R**, > 15 – nieakceptowalne, 5-14 niskie średnie, akceptowalne, < 5 minimalne, akceptowalne).

WP	Opis	W	P	R	Metoda złagodzenia	P po złagodzeniu	R po złagodzeniu
	Niedostępność szczegółowej dokumentacji technicznej gotowych komponentów do prototypów	4	3	12	Kontakt z producentem z wyprzedzeniem	1	4
	Częste zmiany w projekcie mechanicznym/elektrycznym	4	3	12	Podejście ewolucyjne, bliska współpraca członków zespołu projektowego	1	4
	Problemy z interfejsem komunikacyjnym kamer	4	3	12	Zmiana biblioteki komunikacyjnej	1	4
	Niekompatybilności między oprogramowaniem pokładowym a serwisami	4	3	12	Podejście ewolucyjne, bliska współpraca członków zespołu projektowego, wczesna integracja	1	4
	Zmiany w projekcie	3	3	9	Podejście ewolucyjne i modułowość	1	3
	Niewystarczający zasięg kamer	4	3	9	Wczesne sprawdzenie zasięgu, staranny wybór lokalizacji	1	4
	Zbyt wolne łącze internetowe	3	4	12	Staranny wybór lokalizacji z zasięgiem 3G, zapewnienie mobilności stacji	1	3
	Zbyt wiele wymagań od użytkowników	4	3	12	Podejście Scrum-Agile, ewolucyjne tworzenie oprogramowania	2	8

## 7. Kadra badawcza

Przedsiębiorstwo Cilium posiada doświadczenie w prowadzeniu prac badawczo-rozwojowych oraz we wdrażaniu i uruchamianiu swoich rozwiązań w różnych częściach świata. Na dzień dzisiejszy zasoby osobowe Spółki, to dwaj naukowcy - Dr inż. Stanisław Kozłowski i Dr Krzysztof Hełminiak – wspólnicy CILIUM. Stanisław Kozłowski posiada doświadczenie w realizowaniu komercyjnych projektów z branży kosmicznej, m. im. dla Europejskiej Agencji Kosmicznej – zarówno od strony organizacyjnej i merytorycznej, a Krzysztof Hełminiak ma bardzo bogate doświadczenie w modelowaniu układów fizycznych, precyzyjnych pomiarach astrometrycznych i fotometrycznych oraz syntezie danych.

Do realizacji prac w ramach projektu zostanie utworzony zespół badawczy, składający się z pięciu osób. Wszystkie wymienione poniżej osoby posiadają wykształcenie i doświadczenie adekwatne do planowanego zakresu prac B+R przewidzianych w projekcie.

Kadra badawcza zaangażowana w projekt:

**1. Dr inż. Stanisław Kozłowski** – specjalista systemów obserwacyjnych dedykowanych do SST, menadżer z doświadczeniem w prowadzeniu projektów realizowanych m. in. dla Europejskiej

Agencji Kosmicznej. Autor 11 publikacji recenzowanych w międzynarodowych czasopismach, 4 publikacji konferencyjnych.

W 2008 roku obronił pracę dyplomową magisterską pt. Sterownik układu jezdnego modułowego robota mobilnego, kończąc tym samym studia na kierunku Automatyka i Robotyka na wydziale Informatyki i Zarządzania Politechniki Poznańskiej. Rok później skończył także studia na kierunku Astronomia na Wydziale Fizyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Temat pracy magisterskiej: *Timing of Eclipses of Binary Stars from the ASAS Catalog*. Rozprawę doktorską pt. *Photometry and spectroscopy of selected eclipsing binaries with the Solaris robotic telescopes* obronił w 2017 roku.

Swoje zainteresowania naukowe skupia wokół tematyki związanej z projektem *Solaris*. Od strony technicznej interesuje się integracją sprzętu wchodzącego w skład zrobotyzowanego obserwatorium, sterowanie tym sprzętem, a także systemy zabezpieczeń i awaryjne. Od strony naukowej zajmują się chronometrażem zaćmień układów podwójnych i wszystkim co jest związane z tym zagadnieniem: redukcją danych, ich analizą, a także symulacjami. Od 2013 roku zaangażowany w realizację projektów z obszaru SST.

#### Doświadczenie

W roku 2010 pracował jako inżynier w Engineering Design Center, jednostce badawczo-rozwojowej firmy General Electric.

Od 2011 członek zespołu w projekcie *Solaris* realizowanym przez Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika PAN. *Solaris* to polski projekt naukowy, który dzięki sieci zrobotyzowanych teleskopów poszukuje planet pozasłonecznych (tzw. egzoplanet) w układach gwiazd podwójnych. Przedsięwzięcie jest realizowane od 2010 roku przez grupę prof. Macieja Konackiego z Centrum Astronomicznego im. Mikołaja Kopernika Polskiej Akademii Nauk.

Od 2013 roku prezes firmy Cilium Engineering, pomysłodawca i współtwórca wszystkich produktów i usług oferowanych przez firmę: 2PiSky, ObservatoryWatch, SpecTrack, GAM.

Leader zespołu realizującego projekt Astrometry24.Net dla Europejskiej Agencji Kosmicznej po stronie Cilium w latach 2017-2018, odpowiedzialny za opracowanie i implementację algorytmów do pomiarów astrometrycznych satelitów.

Leader projektu OmniSky realizowanego w latach 2017-2018 dla Europejskiej Agencji Kosmicznej. Koordynowanie prac 8-osobowego zespołu (w tym 4 po stronie Cilium).

Leader projektu OmniSkyNET realizowanego w latach 2019-2021 dla Europejskiej Agencji Kosmicznej. Koordynowanie prac 8-osobowego zespołu (w tym 5 po stronie Cilium).

Leader zespołu realizującego projekt NEOPol dla Europejskiej Agencji Kosmicznej po stronie Cilium w latach 2019-2020, odpowiedzialny za projekt, wykonanie i integrację komponentów mechanicznych polarymetru do pomiarów polarymetrycznych planetoid.

Leader zespołu realizującego projekt VisualCortex dla Europejskiej Agencji Kosmicznej po stronie Cilium w latach 2019-2020, odpowiedzialny kampanie obserwacyjne.



**2. Mgr inż. Arkadiusz Raj** - specjalista od systemów wbudowanych i komunikacyjnych z 20-letnim doświadczeniem w branży. Absolwent Wyższej Szkoły Informatyki w Łodzi (2005). Biegły programista w kilku językach niskiego i wysokiego poziomu. Zaangażowany w działania Polskiej Sieci Bolidowej.

#### Doświadczenie

Optyczne.pl — od 2012, testowanie obiektywów i zaawansowanych aparatów kompaktowych, twórca metodologii testów przetworników CMOS.

Ericsson Polska - od 2016, odpowiedzialny za środowisko testowe technologii 2G i 3G.

Ericpol – 2005-2016, programista, architekt systemów, menedżer produktów, zarządzający projektami testów sieci 2G, inżynieria systemów, twórca oprogramowania do testowania komponentów telekomunikacyjnych (GSM), metodologia "waterfall" i "agile".

EL-TEC — 2004-2005, współzałożyciel i programista, projektowanie systemów wbudowanych, administracja siecią.

PKO Leasing — 2002-2004, administrator IBM mainframe, baz danych Oracle, programista.

Common Sp. z o.o. — 1996-2002, twórca oprogramowania niskopoziomowego, telemetria, monitoring gazociągów, administrator systemów Windows i Linuks.

**3. Przemysław Żołądek** – specjalista do spraw systemów obserwacyjnych, współautor 10 publikacji recenzowanych w międzynarodowych periodykach, 28 publikacji nierecenzowanych (periodyki specjalistyczne, konferencyjne).

#### Doświadczenie

od 2017 do chwili obecnej – Cilium Engineering – odpowiedzialny za algorytmy deorbitacyjne.

2015 – Polska Sieć Bolidowa, odpowiedzialny za rozmieszczenie i działanie automatycznych stacji bolidowych w oparciu o kamery megapikselowe DMK23GX236 i DMK33GX174, koordynator Polskiej Sieci Bolidowej.

2013 - Centrum Astronomicznego im. Mikołaja Kopernika w Warszawie, stanowisko badacza, grant NCN 2013/09 / B / ST9 / 02168 "Polish Fireball Network", główne tematy: trajektoria i analiza orbitalna obserwowanych meteorów.

2011 - twórca oprogramowania PyFN służącego do półautomatycznego wyznaczania trajektorii meteorów i elementów orbitalnych.

2007 - Dyrektor Warsztatów „Comet & Meteors”, jeden z koordynatorów programu Polskiej Sieci Bolidowej.

2006 - twórca oprogramowania do redukcji danych IMOGENA (astrometria, fotometria, trajektoria i obliczenia orbitalne).

2004 - odpowiedzialny za przygotowanie sprzętu fotograficznego używanego do precyzyjnych obserwacji meteorów (trzy zestawy zautomatyzowanych kamer analogowych programowalnych z migawką obrotową).

**4. Suchecki Jakub** – specjalista do spraw systemów obserwacyjnych, odpowiedzialny integrację komponentów stacji, elementy sieciowe, utrzymanie i aktualizację oprogramowania pokładowego.

#### Doświadczenie

od 2018 do chwili obecnej - Cilium Engineering – odpowiedzialny za integrację stacji OmniSky, agregację danych VisualCortex, algorytmy segmentacji obrazu, rozwój oprogramowania SpecTrack.

**5. Specjalista ds. systemów informatycznych (stanowisko zostanie utworzone)** – osoba zatrudniona na tym stanowisku będzie realizowała następujące zadania: opracowanie narzędzi pozwalających na przetworzenie uzyskanych w procesie badawczym danych obserwacyjnych, obsługa techniczna stacji, administracja systemami.

Doświadczenie: wymagane wykształcenie wyższe z astronomii, informatyki lub kierunków pośrednich, dobra znajomość języków programowania wysokiego poziomu.

## 8. Okres realizacji - harmonogram

Harmonogram agendy badawczej obejmuje etap prac badawczych - zaprojektowanie i wytworzenie dwóch stacji obserwacyjnych wyposażonych w baterie kamer z obiektywami, które umożliwią pomiary trójwymiarowej pozycji satelitów na orbitach LEO – oraz komercjalizację tych badań.

Harmonogram jest podzielony na pakiety zadań (work packages) od WP-0 do WP-8. W skład harmonogramu wchodzi także kamienie milowe MS-1 do MS-4. Zakres prac realizowanych w ramach pakietów został opisany powyżej w pkt. 3.2. Poniżej przedstawiono diagram Gantta ilustrujący okres realizacji i harmonogram prac.

Wnioskodawca planuje realizację projektu w czasie **18 miesięcy, tj. od 04.2020 r. do 09.2021 r.**

### **Okres trwałości projektu (2022 – 2024)**

Zakres zadań w ramach Projektu został zaplanowany w taki sposób, aby możliwe było jego funkcjonowanie przez min. 3 lata od dnia dokonania płatności końcowej na rzecz Spółki Cilium. Przedsiębiorstwo Cilium sp. z o.o. deklaruje, że w okresie 3 lat od zakończenia projektu zostanie zachowana jego trwałość w rozumieniu art. 71 rozp. PE i Rady (UE) nr 1303/2013.

Projektem po zakończeniu jego realizacji będzie zarządzać zarząd firmy, posiadający wieloletnie doświadczenie w zarządzaniu przedsiębiorstwem i projektami rozwojowymi.

Przedmiot projektu w okresie jego trwałości będzie własnością firmy Cilium sp. z o.o., a właściciele firmy nie planują:

- 1) zaprzestać działalności lub jej relokować poza obszar województwa kujawsko-pomorskiego;
- 2) zmiany własności elementu współfinansowanej infrastruktury, która daje przedsiębiorstwu lub podmiotowi publicznemu nienależne korzyści;
- 3) istotnej zmiany wpływającej na charakter projektu, jego cele lub warunki realizacji, która mogłaby doprowadzić do naruszenia jego pierwotnych celów.

Przedsiębiorstwo Cilium sp. z o.o. w okresie trwałości projektu planuje komercjalizację wyników przeprowadzonych prac B+R.

Harmonogram agencji badawczej w ramach projektu pt. OpticalFencePL - przeprowadzenie prac badawczych przez firmę CILIUM ENGINEERING sp. z o.o. w celu komercjalizacji wyników badań w postaci sieci mobilnych stacji OpticalFencePL do trójwymiarowych pomiarów pozycji satelitów

Identyfikator	Nazwa zadania	Początek	Zakończenie	Czas trwania	2020			2021				2022				2023				2024			
					K2	Q3	K4	K1	Q2	K3	Q4	K1	Q2	K3	K4	K1	K2	K3	K4	K1	K2	K3	
1	WP-0	01.04.2020	01.06.2020	62d																			
2	WP-1	01.04.2020	02.10.2020	185d																			
3	WP-2	01.05.2020	02.10.2020	155d																			
4	MS-1	03.10.2020	03.10.2020	0d																			
5	WP-3	03.10.2020	02.05.2021	212d																			
6	WP-4	03.10.2020	02.05.2021	212d																			
7	MS-2	03.05.2021	03.05.2021	0d																			
8	WP-5	03.05.2021	02.08.2021	92d																			
9	MS-3	03.08.2021	03.08.2021	0d																			
10	WP-6	03.08.2021	01.10.2021	60d																			
11	WP-7	01.04.2020	01.10.2021	549d																			
12	MS-4	02.10.2021	02.10.2021	0d																			
13	WP-8	02.10.2021	30.09.2024	1095d																			
14	MS-5	01.10.2024	01.10.2024	1d																			

## 9. Referencje

- [1] Steven Bloemen, Paul Groot, Patrick Woudt, Marc Klein Wolt, Vanessa McBride, Gijs Nelemans, Elmar K rding, Margaretha L. Pretorius, Ronald Roelfsema, Felix Bettonvil, Harry Balster, Roy Bakker, Peter Dolron, Arjen van Elteren, Eddy Elswijk, Arno Engels, Rob Fender, Marc Fokker, Menno de Haan, Klaas Hagoort, Jasper de Hoog, Rik ter Horst, Giel van der Kevie, Stanisław Kozłowski, Jan Kragt, Grzegorz Lech, Rudolf Le Poole, Dirk Lesman, Johan Morren, Ramon Navarro, Willem-Jelle Paalberends, Kerry Paterson, Rafal Pawłaszek, Wim Pessemier, Gert Raskin, Harrie Rutten, Bart Scheers, Menno Schuil, Piotr W. Sybilski, "MeerLICHT and BlackGEM: custom-built telescopes to detect faint optical transients," Proc. SPIE 9906, Ground-based and Airborne Telescopes VI, 990664 (27 July 2016).
- [2] Stanisław K. Kozłowski, Piotr Sybilski, Arkadiusz Olech, Arkadiusz Raj, Przemysław Żołądek, Michał Litwicki, Rafał K. Pawłaszek, Michał Drzał, Sławomir Hus, Mariusz Słonina, Quirin Funke, Tim Flohrer (2019): "OmniSky: wide angle multi-camera station network concept for re-entry detection", 1st NEO and Debris Detection Conference, 22 January 2019 - 24 January 2019, Darmstadt, Germany, published by ESA Space Safety Programme Office.
- [3] Lejba P., Suchodolski T., Michałek P., Bartoszek J., Zapaśnik S., Schillak S., First laser measurements to space debris in Poland, Advances in Space Research, Vol. 61, Issue 10, pp. 2609–2616, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.02.033>.
- [4] „SSA Programme Overview,” 02 11 2017. [Online]. Available: [https://www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Safety/SSA\\_Programme\\_overview](https://www.esa.int/Our_Activities/Space_Safety/SSA_Programme_overview). [Accessed: 17 07 2019].
- [5] A. Sybilska, S. Kozłowski, P. Sybilski, R. Pawłaszek, M. Słonina, A. Gurgul, P. Konorski, M. Drzał, S. Hus, L. G., L. M. Pilichowski, R. Ślimak, U. Kolb, V. Burwitz, T. Flohrer i Q. Funke, „Astrometry24.net – precise astrometry for SST and NEO,” w 1st NEO and Debris Detection Conference, 22 January 2019 - 24 January 2019, Darmstadt, Germany, published by ESA Space Safety Programme Office, Darmstadt, 2019.