



**Politechnika Warszawska**

**Centrum Zaawansowanych Materiałów  
i Technologii CEZAMAT**

**ANALIZA STANU WIEDZY I TECHNIKI  
Z ZAKRESU**

**FOTONIKI ZINTEGROWANEJ**

**2024**

**WARSZAWA**



**Politechnika Warszawska**  
Centrum Zaawansowanych Materiałów  
i Technologii CEZAMAT

# **ANALIZA STANU WIEDZY I TECHNIKI**

## **Z ZAKRESU**

## **FOTONIKI ZINTEGROWANEJ**

Raport został opracowany przez INVESTIN Sp. z o.o. na zlecenie Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii CEZAMAT Politechniki Warszawskiej i finansowany ze środków budżetu Państwa w ramach projektu „Hub Innowacji w Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii CEZAMAT” NdS/537039/2021/2021 realizowanego w ramach programu Nauka dla społeczeństwa.



Dofinansowano ze środków budżetu Państwa Nauka dla Społeczeństwa:  
Hub Innowacji w Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii CEZAMAT, NdS/537039/2021/2021

## SPIS TREŚCI

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| NOTA METODOLOGICZNA.....                                                                                  | 1  |
| 1. CEL I PRZEDMIOT RAPORTU .....                                                                          | 2  |
| 2. WYNIKI PRZEGLĄDU DANYCH DOSTĘPNYCH PUBLICZNIE .....                                                    | 2  |
| 2.1. ANALIZA DANYCH RYNKOWYCH.....                                                                        | 2  |
| 2.2. ANALIZA TRENDÓW W FINANSOWANIU BADAŃ I INNOWACJI W EUROPIE POPRZEC PRZEGLĄD<br>DANYCH Z CORDIS ..... | 4  |
| 2.3. ANALIZA PERSPEKTYWICZNYCH KIERUNKÓW ROZWOJOWYCH W PUBLIKACJACH NAUKOWYCH<br>Z POLSKI I ŚWIATA.....   | 5  |
| 2.4. ANALIZA TRENDÓW W FINANSOWANIU PROJEKTÓW GRANTOWYCH W POLSCE.....                                    | 8  |
| 2.6. ANALIZA TRENDÓW TECHNOLOGICZNYCH POPRZEC PRZEGLĄD PATENTÓW W SKALI GLOBALNEJ ..                      | 13 |
| 3. ANALIZA BENCHMARKINGOWA BRANŻOWYCH PODMIOTÓW BADAWCZYCH NA RYNKU POLSKIM.....                          | 14 |
| 4. ANALIZA WYNIKÓW EKSPERCKIEJ METODY DELFICKIEJ .....                                                    | 18 |
| 5. ANALIZA WYNIKÓW EKSPERCKIEJ IDENTYFIKACJI OBSZARÓW PERSPEKTYWICZNYCH .....                             | 22 |
| 6. PODSUMOWANIE I REKOMENDACJE.....                                                                       | 25 |
| ANEKS .....                                                                                               | 27 |

## NOTA METODOLOGICZNA

W dzisiejszym dynamicznym środowisku biznesowym i naukowym, skuteczne podejmowanie decyzji wymaga solidnych podstaw analitycznych opartych na aktualnych danych i wiedzy eksperckiej. W celu optymalnego wyboru kierunku rozwoju badań w jednostce naukowej, dokonano badania trendów w nauce i biznesie.

Niniejszy rozdział dotyczy procesu badawczego, który został opracowany w celu uzyskania kompleksowego i rzetelnego obrazu stanu rzeczy oraz potencjalnych perspektyw rozwoju w dziedzinie fotoniki zintegrowanej. Pierwszym z elementów badania był wstępny desk research. Jest to proces gromadzenia danych, oparty na istniejących informacjach, mający na celu generowanie oraz strukturyzację wiedzy. Pozwala on na mapowanie, ustrukturyzowanie i typizację zagadnień związanych z określonym obszarem badawczym. Wyniki desk research zostały zestawione z danymi przekazanymi przez Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii Politechniki Warszawskiej (zwanym dalej jako CEZAMAT PW). Sformułowania te zostały porównane i uzupełnione o informacje dotyczące słów i fraz kluczowych wyróżnionych przez ekspertów. Uzyskane hasła posłużyły do późniejszego wyszukiwania w bazach oraz podlegały pod dyskusję kolejnych ekspertów.

Następnie dokonano pogłębionego badania desk research, uwzględniającego dywersyfikację źródeł danych. Analizowano aktywność naukowo-badawczą i biznesowo-przemysłową, identyfikując przy tym przyszłe trendy oraz nisze rynkowe. Badano dane dotyczące patentów, projektów grantowych i publikacji naukowych, pozwalających na określenie zależności i identyfikację nisz rynkowych. Jako źródła danych zostały wykorzystane bazy patentowe, RAD-on, CORDIS, bazy bibliometryczne oraz wykazy projektów zrealizowanych przy wsparciu funduszy europejskich.

Następnie została dokonana selekcja lidera sektorowego, który potem został poddany dokładnej analizie. Przeanalizowane zostały: praktyki w komercjalizacji wiedzy, model współpracy między nauką a biznesem w transferze technologii i zarządzaniu własnością intelektualną oraz charakterystyka elementów ekosystemu innowacji. Dane potrzebne do tych analiz zostały pobrane ze źródeł takich jak witryny internetowe, materiały marketingowe, materiały stowarzyszeń, jak również raporty, analizy i dane związane z edukacją wyższą i nauką.

Kolejnym krokiem było przeprowadzenie badania metodą delficką, angażującą ekspertów wewnętrznych z Politechniki Warszawskiej oraz innych instytucji. Metoda ta umożliwia poznanie opinii i oceny ekspertów dotyczących obecnego stanu oraz potencjalnych kierunków rozwoju.

W dalszej części raportu opisano wyniki badania metodą IDI/TDI, czyli wywiadów pogłębionych z ekspertami zewnętrznymi. Ich wiedza pozwoliła na uzyskanie perspektywy spoza organizacji, a także na zaopiniowanie wyników badania przeprowadzonego metodą delficką.

# 1. CEL I PRZEDMIOT RAPORTU

W niniejszym raporcie zostały zbadane trendy oraz nisze rynkowe w danym obszarze tematycznym, którym jest fotonika zintegrowana. Głównym zadaniem raportu jest przedstawienie analizy sytuacji rynkowej w celu zidentyfikowania kluczowych kierunków rozwoju i wyzwań obecnych na rynku.

W kontekście dalszego rozwoju i komercjalizacji wyników działalności badawczej Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii CEZAMAT Politechniki Warszawskiej, niniejszy dokument stanowi kluczowy element w budowaniu i rozwijaniu współpracy z otoczeniem biznesowym. z uwagi na rosnącą rolę innowacji i zaawansowanych technologii w gospodarce, CEZAMAT PW stawia sobie za cel nie tylko prowadzenie badań na najwyższym światowym poziomie, ale także efektywne wdrażanie ich wyników w praktyce gospodarczej.

## 2. WYNIKI PRZEGLĄDU DANYCH DOSTĘPNYCH PUBLICZNIE

### 2.1. ANALIZA DANYCH RYNKOWYCH

Rynek zintegrowanych układów fotonowych (PIC) przeżywa znaczący wzrost i różnorodność w różnych technologiach i platformach materiałowych. Globalny rynek PIC został wyceniony na około 21,15 miliarda USD w 2023 roku i przewiduje się, że wzrośnie o średnioroczną stopę wzrostu (CAGR) na poziomie 20,3%, osiągając około 113,98 miliarda USD do 2032 roku. Wzrost ten jest napędzany przez postępy w telekomunikacji, centrach danych i technologiach czujnikowych<sup>1</sup>. z kolei globalny rynek fotonicznych sensorów wyceniono na 17,18 mld USD w 2022 r. Szacowany średnioroczny wzrost tego rynku wynosi 16,93% w perspektywie 2023-2031, kiedy w ostatnim roku prognozy osiągnie wartość 70,20 mld USD<sup>2</sup>.

Przy analizie rynku nie sposób pominąć informacji rynkowych płynących ze świata, szczególnie w przypadku ograniczenia eksportów do UE i USA galu i germanu z Chin, gdzie ten drugi pierwiastek jest w kręgu zainteresowań naukowych i komercyjnych CEZAMAT PW. Władze Chin podjęły decyzję kilka tygodni po ogłoszeniu przez UE nowej strategii bezpieczeństwa gospodarczego, która ma na celu zredukowanie zależności od krajów trzecich, na podstawie doświadczeń związanych z walką o redukcję zależności od rosyjskich nośników energii po inwazji Rosji na Ukrainę. Strategia UE obejmuje również nadzór nad eksportem krytycznych technologii<sup>3</sup>. Należy mieć na uwadze, że Chiny są największym światowym producentem germanu - 870 ton w 2022 r.<sup>4</sup>, z których kraje UE importują 45% całkowitego zużycia<sup>5</sup>. w połowie 2022 roku cena germanu sięgała nawet 1 500 USD/kg. Od końca 2022 roku ceny obu germanu i galu spadały, ale od lipca ponownie zaczęły rosnąć. Najnowsze dane pokazują, że ceny eksportowe za kilogram germanu przekraczają już 2 000 USD/kg, a od ogłoszenia przez Pekin limitów

---

<sup>1</sup> <https://www.researchandmarkets.com/reports/5921358/global-photonic-integrated-circuits-pic-market> (dostęp 30.04.2024 r.)

<sup>2</sup> <https://straitsresearch.com/report/photonic-sensors-market> (dostęp 30.04.2024 r.)

<sup>3</sup> <https://intermodalnews.pl/2023/07/06/chiny-zaczynaja-podnosic-stawke-w-relacjach-z-ue/> (dostęp 13.05.2024 r.)

<sup>4</sup> <https://wysokienapiecie.pl/89531-chiny-kontratakuja-co-oznacza-ograniczenie-dostaw-germanu-i-galu/> (dostęp 13.05.2023 r.)

<sup>5</sup> <https://intermodalnews.pl/2023/07/06/chiny-zaczynaja-podnosic-stawke-w-relacjach-z-ue/> (dostęp 13.05.2023 r.)

eksportowych w połowie 2023 r., ceny galu i germanu wzrosły już o około 40%<sup>6</sup>. German trudno zastąpić w panelach fotowoltaicznych, światłowodach, optyce podczerwieni i jako katalizator polimeryzacji z uwagi na swoje właściwości. Wysokie ceny germanu wynikają także pośrednio z cen jego zamienników, które posiadają gorsze parametry, a kontrole eksportu doprowadzą do spadku podaży germanu na rynku światowym, co spowoduje kolejne wzrosty cen tego półprzewodnika oraz spadki produkcji układów scalonych<sup>7</sup>.

Do analizy wykorzystano także dane z bazy Royalty Range<sup>8</sup>, która dostępna jest wyłącznie poprzez subskrypcję. Jest to obszerne źródło informacji dotyczących opłat licencyjnych i praw do własności intelektualnej. Obejmuje szeroki zakres transakcji, w tym umowy licencyjne, umowy franchisingowe, umowy dotyczące znaków towarowych, patentów, praw autorskich i innych rodzajów własności intelektualnej. w skład tej bazy wchodzi informacje pochodzące z różnych branż i sektorów gospodarki, co pozwala na uzyskanie różnorodnej perspektywy na opłaty licencyjne w różnych obszarach działalności. Dane te są zbierane z różnych publicznych i prywatnych źródeł, w tym z rejestrów patentowych i sprawozdań finansowych firm. Dane z bazy Royalty Range zostały przeszukane na podstawie występowania słów kluczowych w języku angielskim, które zidentyfikowali specjaliści z CEZAMAT PW:

- Photonic Integrated Circuits – PIC (material platform: silicon nitride, Silicon-on-Insulator, germanium);
- Integrated photonics sensing, biomedical sensing, gas sensing/detection;
- Microoptical elements, Diffractive optical elements.

Na tej podstawie zidentyfikowano łącznie 9 transakcji na świecie z lat 2014-2023 dla technologii powiązanych z fotoniką. Dane te jednak charakteryzują się daleko posuniętym zindywidualizowaniem<sup>9</sup> kwot transakcyjnych z uwagi na konstrukcję umów licencyjnych, które niejednokrotnie zakładają szereg warunków, czasami zależnych od siebie co do wniesienia opłat licencyjnych. Nie pozwala to na ustalenie nawet szacunkowych kwot dla poszczególnych transakcji przez co nie jest możliwe uchwycenie trendów w tej kwestii. Stawki licencyjne wahają się od 1% do 13%, choć średnia to ok. 5,21% a mediana to 4%. Licencje są wyłączne lub niewyłączne niezależnie od formy ochrony prawnej komercjalizowanego osiągnięcia naukowego. Co interesujące, licencjodawcami i licencjobiorcami były w większości przypadków podmioty komercyjne – jedynym ośrodkiem badawczym występującym w roli licencjodawcy był Massachusetts Institute of Technology. To także podmioty z USA, Chin, Korei Południowej i Filipin były najczęściej stronami umów licencyjnych.

Analiza rynku została wzbogacona także o przegląd wewnętrznych baz danych Investin sp. z o.o., gdzie znajdują się technologie, dla których dokonano wyceny praw własności intelektualnej w oparciu o dane rynkowe. z obszaru fotoniki oraz innych technologii powiązanych zidentyfikowano 5 rozwiązań, których wyceny realizowano w latach 2017-2023. Średnia wartość licencji wyłącznej wycenianych technologii wyniosła 858 072 zł, a wartość sprzedaży wyniosła średnio 670 500 zł.

---

<sup>6</sup> <https://wysokienapiecie.pl/89531-chiny-kontratakuja-co-oznacza-ograniczenie-dostaw-germanu-i-galu/> (dostęp 13.05 2024 r.)

<sup>7</sup> <https://wysokienapiecie.pl/89531-chiny-kontratakuja-co-oznacza-ograniczenie-dostaw-germanu-i-galu/> (dostęp 13.05 2024 r.)

<sup>8</sup> [https://www.royaltyrange.com/?gad\\_source=1&gclid=EAlaIqobChMlvOXUr6\\_nhQMvQFeRBR1fcgnwEAAYASAAEgKojvD\\_BwE](https://www.royaltyrange.com/?gad_source=1&gclid=EAlaIqobChMlvOXUr6_nhQMvQFeRBR1fcgnwEAAYASAAEgKojvD_BwE) (dostęp 29.04.2024 r.)

<sup>9</sup> Szczegóły dotyczące poszczególnych transakcji znajdują się w Aneksie. Pozwolą one bardziej szczegółowo ocenić charakter i złożoność transakcji, nie tylko w kontekście kwot, ale też samych technologii będących przedmiotem komercjalizacji.

Tabela 1. Technologie powiązane z fotoniką, dla których wykonano wyceny praw własności intelektualnej przez Investin sp. z o.o. z lat 2017-2023

| Nazwa                                                                                                               | Właściciel                                               | TRL | Rok  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----|------|
| Światłowodowy laser tulowy do zastosowań medycznych                                                                 | Wojskowa Akademia Techniczna                             | 7   | 2017 |
| Przestrzenny skaner laserowy wraz z oprogramowaniem, do zastosowań w nawigacji robotów mobilnych                    | Politechnika Łódzka i Przedsiębiorstwo PREXER Sp. z o.o. | 3   | 2017 |
| Technologia konwerter DOWN długości fal światła przeznaczony do zwiększania sprawności ogniw słonecznych            | Politechnika Łódzka                                      | 3   | 2017 |
| Urządzenie i sposób obrazowania nowotworu skóry                                                                     | Śląski Uniwersytet Medyczny                              | 2   | 2018 |
| Urządzenie do pomiaru parametrów meteorologicznych atmosfery                                                        | Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu                    | 2   | 2019 |
| Identyfikacja zmian nowotworowych w oparciu o obrazowanie i spektroskopię Ramana tkanek ludzkich                    | Politechnika Łódzka                                      | 7   | 2020 |
| Bezdotykowy system kontroli jakości obróbki strumieniowo-ściernej                                                   | Politechnika Łódzka                                      | 7   | 2020 |
| Sposób pomiaru skutecznej wartości prądu zwłaszcza w kablach i przewodach elektroenergetycznych sieci nN i SN       | Politechnika Łódzka                                      | 4   | 2022 |
| Innowacyjny system precyzyjnego monitoringu oparty o integrację niskokosztowych sensorów GNSS oraz IMU MEMS (IPMOS) | Uniwersytet Warmińsko-Mazurski                           | 7   | 2023 |

Opracowanie własne na podstawie wewnętrznej bazy danych

## 2.2. ANALIZA TRENDÓW W FINANSOWANIU BADAŃ I INNOWACJI W EUROPIE POPRZECZ PRZEGLĄD DANYCH Z CORDIS

CORDIS<sup>10</sup> (Community Research and Development Information Service) jest kluczowym portalem Unii Europejskiej dla rozpowszechniania informacji na temat badań i innowacji. Jego głównym celem jest wspieranie otwartej innowacji, dialogu naukowego oraz dostępu do wiedzy naukowej. Narzędzie to umożliwia lepsze zrozumienie dynamiki finansowania badań i innowacji w Europie, co stanowi fundament dla rozwoju polityk naukowych i innowacyjnych na kontynencie. Projekty związane z fotoniką zintegrowaną finansowane były ze środków: „Programów Ramowych Badań i Rozwoju Technologicznego”<sup>11</sup>.

Wykres poniżej przedstawia trendy liczby dofinansowanych projektów badawczych z zakresu fotoniki w trzech podstawowych obszarach badawczych: **fotoniczne układach scalone**<sup>12</sup>, **zintegrowane**

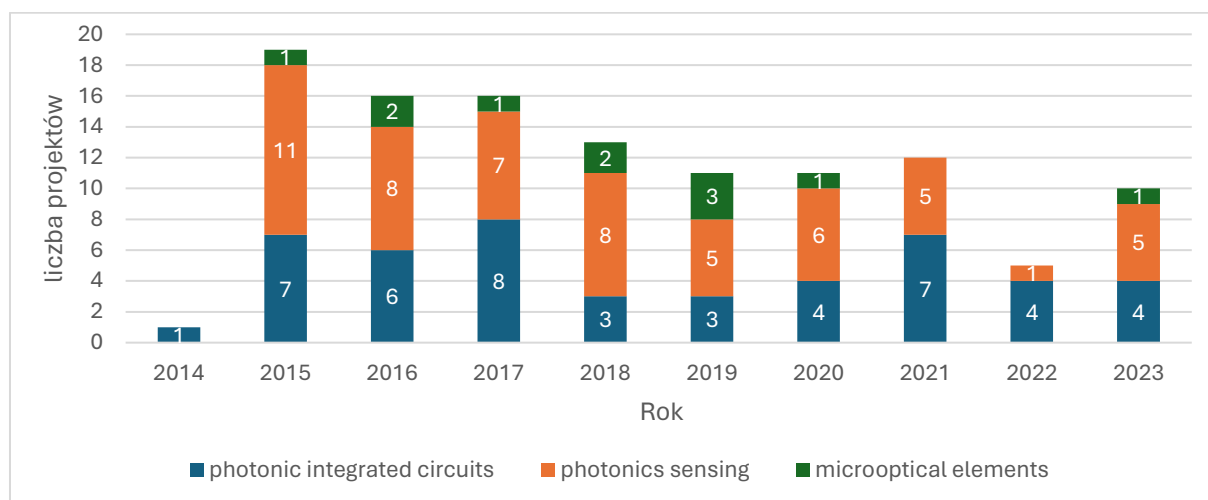
<sup>10</sup> <https://cordis.europa.eu/> (dostęp 25.03.2024 r.)

<sup>11</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Framework\\_Programmes\\_for\\_Research\\_and\\_Technological\\_Development](https://en.wikipedia.org/wiki/Framework_Programmes_for_Research_and_Technological_Development)

<sup>12</sup> Treść zapytania do bazy danych: contenttype='project' AND (((('integrated circuit' AND 'photonic') OR ('PIC' AND 'photonic')) AND ('silicon nitride' OR 'silicon-on-insulator' OR 'germanium' OR 'SOI')))

**fotoniczne czujniki<sup>13</sup> oraz optyka dyfrakcyjna<sup>14</sup> (elementy mikrooptyczne), na przestrzeni lat 2014–2023.**

Wykres 1. Liczba projektów badawczych z zakresu fotoniki w podziale na kategorie z lat 2014-2023



Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników wyszukiwania na portalu CORDIS

Na podstawie wykresu powyżej widać tendencję spadkową liczby dofinansowanych projektów. w rozbiciu na poszczególne obszary badawcze, w przypadku fotonicznych układów scalonych oraz elementów mikrooptycznych trudno mówić o jakiegokolwiek tendencji z uwagi na istotne różnice w liczbie dofinansowanych projektów. z kolei patrząc na rozkład liczby dofinansowanych projektów z zakresu fotonicznych czujników, charakteryzują się one spadkiem od bazowej liczby 11 dofinansowanych projektów w 2015 r. do 5 w 2023 r. z niewielkimi wahaniami w poszczególnych latach. Owe różnice w liczbie projektów, które uzyskały dofinansowanie w latach 2014-2024 wiązać się mogą nie tyle z zapotrzebowaniem na badania lub popularnością danego obszaru badawczego, a z terminami otwierania naborów oraz perspektyw finansowych. Aby sprawdzić tę zależność, prześledzono także źródła finansowania, z których dofinansowane były poszczególne projektu.

## 2.3. ANALIZA PERSPEKTYWICZNYCH KIERUNKÓW ROZWOJOWYCH W PUBLIKACJACH NAUKOWYCH Z POLSKI I ŚWIATA

Kolejnym etapem identyfikacji trendów w zakresie fotoniki w poszczególnych jej obszarach badawczych jest analiza publikacji naukowych zgromadzonych w bazie Scopus<sup>15</sup>. Baz została przeszukana pod kątem słów kluczowych, rozumianych jako obszary badawcze, wskazanych przez ekspertów wewnętrznych CEZAMAT PW:

- Fotoniczne układy scalone – PIC (platforma materiałowa: azotek krzemu, krzem na izolatorze, german)/ Photonic Integrated Circuits – PIC (material platform: silicon nitride, Silicon-on-Insulator, germanium);

<sup>13</sup> Treść zapytania do bazy danych 'integrated photonics sensing' OR 'biomedical sensing' OR ('gas sensing' AND 'photonics') OR ('gas detection' AND 'photonics')

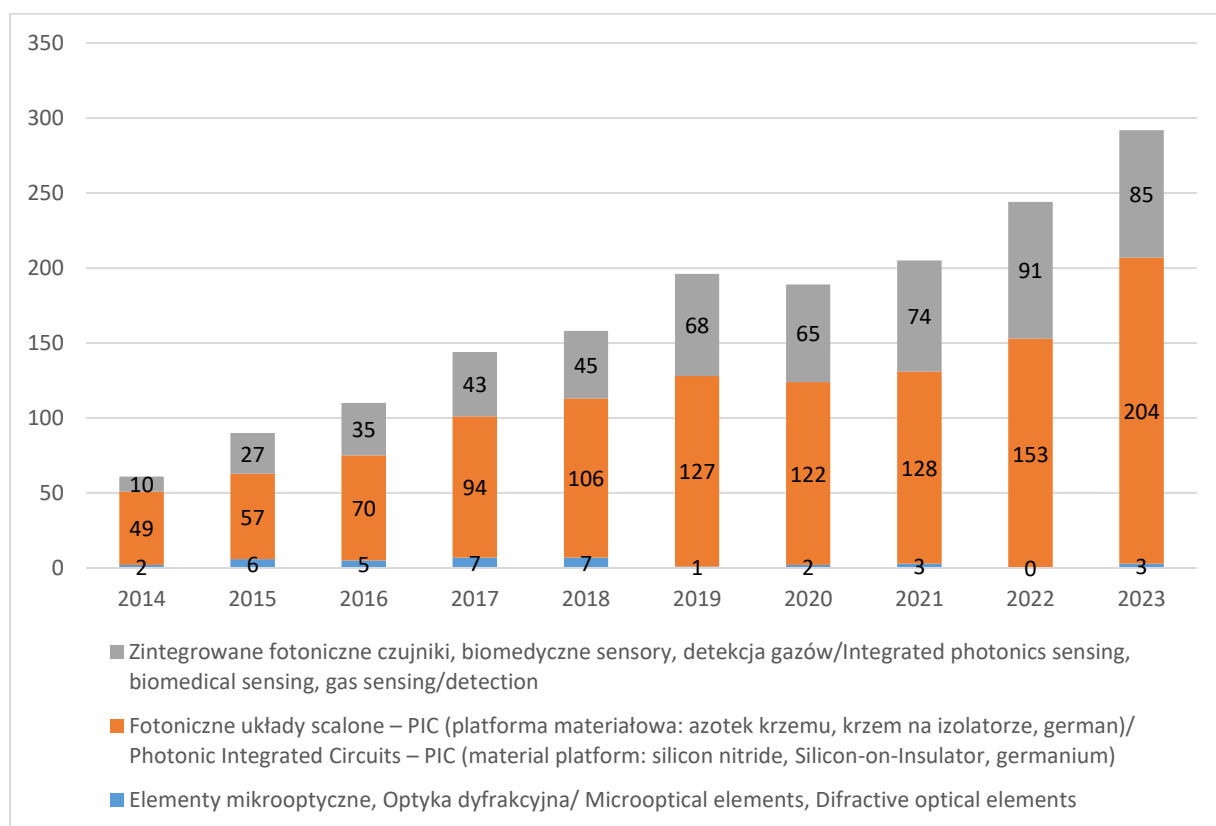
<sup>14</sup> Treść zapytania do bazy danych 'diffractive optics' OR 'microoptical elements' OR 'diffractive optical elements'

<sup>15</sup> <https://www.scopus.com/home.uri> (dostęp 25.03.2024 r.)

- Zintegrowane foniczne czujniki, biomedyczne sensory, detekcja gazów/Integrated photonics sensing, biomedical sensing, gas sensing/detection;
- Elementy mikrooptyczne, Optyka dyfrakcyjna/ Microoptical elements, Diffractive optical elements.

Dla każdego z ww. obszarów należało stworzyć odpowiednie zapytania<sup>16</sup> w celu przeszukania bazy Scopus, uwzględniając przedział czasowy na lata 2014-2023. Sumaryczna liczba nowo opublikowanych prac naukowych z wyznaczonych przez ekspertów CEZAMAT PW obszarów badawczych ma tendencję rosnącą, szczególnie jest to widoczne porównując dane z lat 2014-2019 oraz 2021-2023. Dane z 2019-2021 z kolei przyjmują wartości zbliżone, oscylując wokół 189-205 publikacji rocznie.

Wykres 2. Liczba nowych publikacji w podziale obszary badawcze z lat 2014-2023



Opracowanie własne wyników wyszukiwania w bazie Scopus

Przeglądając się jednak danym dla poszczególnych obszarów badawczych, publikacje dotyczące elementów mikrooptycznych stanowią marginalny udział w ujęciu sumarycznym. Najwięcej (po 7) publikacji w tym zakresie pojawiło się w 2017 i 2018 r. z kolei w latach 2019-2023 liczba publikacji wynosiła 1-3 rocznie, przy czym w 2022 nie powstała żadna taka publikacja. z kolei w przypadku danych dotyczących liczby publikacji w zakresie fonicznych układów scalonych, liczba publikacji rosła co okło 8-14 publikacji rocznie w latach 2014-2019. z kolei w latach 2019-2021 liczba publikacji była stała, oscylująca wokół 122-127 publikacji rocznie. z kolei liczba publikacji z lat 2021-2023 wzrastała o kilkadziesiąt pozycji rocznie – 25 (lata 2021-2022), 71 (lata 2022-2023). Podobną dynamikę, choć

<sup>16</sup> Treść zapytania do bazy danych: integrated circuits - TITLE-ABS-KEY ("photonic integrated circuits" AND "silicon nitride" OR "silicon-on-insulator" OR "germanium"). Treść zapytania dla czujników fonicznych i obszarów powiązanych: integrated photonic, sensing, detection - TITLE-ABS-KEY ("integrated photonics" AND "sensing" OR "biomedical sensing" OR "gas sensing" OR "gas detection"). Treść zapytania dla elementów mikrooptycznych: diffractive microoptics - TITLE-ABS-KEY ( "photonics" AND "microoptical" OR "diffractive" ).

w mniejszej skali, wykazują dane dotyczące liczby publikacji w zakresie zintegrowanych czujników, biosensorów oraz detekcji gazów. Wzrosty te mogą świadczyć o rosnącym zainteresowaniu tymi obszarami oraz ich rozwojem technologicznym, za którym może kryć się także zwiększone dofinansowanie badań.

Przeszukiwanie publikacji w bazie Scopus pozwoliło także na identyfikację afiliacji autorów publikacji. w przypadku obszaru badawczego dotyczącego elementów mikrooptycznych i optyki dyfrakcyjnej nie zidentyfikowano autorów o afiliacji krajowej – w tym obszarze dominują autorzy z uczelni wyższych, jednostek badawczych oraz podmiotów gospodarczych z Niemiec, USA i Chin.

Dla obszaru badawczego fotonicznych układów scalonych zidentyfikowano 11 polskich afiliacji, z których trzykrotnie wystąpili autorzy pracujący w Instytucie Mikroelektroniki i Optoelektroniki Politechniki Warszawskiej. Także trzykrotnie wystąpiła afiliacja autorów pracujących w Vigo Photonics S.A. Jednokrotnie wystąpiła afiliacja Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii Politechniki Warszawskiej<sup>17</sup>.

Dla obszaru badawczego fotonicznych czujników oraz detekcji gazu zidentyfikowano 24 polskie afiliacje. Wśród nich najczęściej, bo ośmiokrotnie, wystąpili autorzy pracujący w Instytucie Mikroelektroniki i Optoelektroniki Politechniki Warszawskiej. Pięciokrotnie wystąpili autorzy afiliowani do Katedry Optoelektroniki, Wydziału Elektrycznego, Politechniki Śląskiej. Dwukrotnie wystąpili autorzy afiliowani do Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii Politechniki Warszawskiej, VIGO Photonics S.A. oraz LightHouse Sp. z o.o.<sup>18</sup>.

---

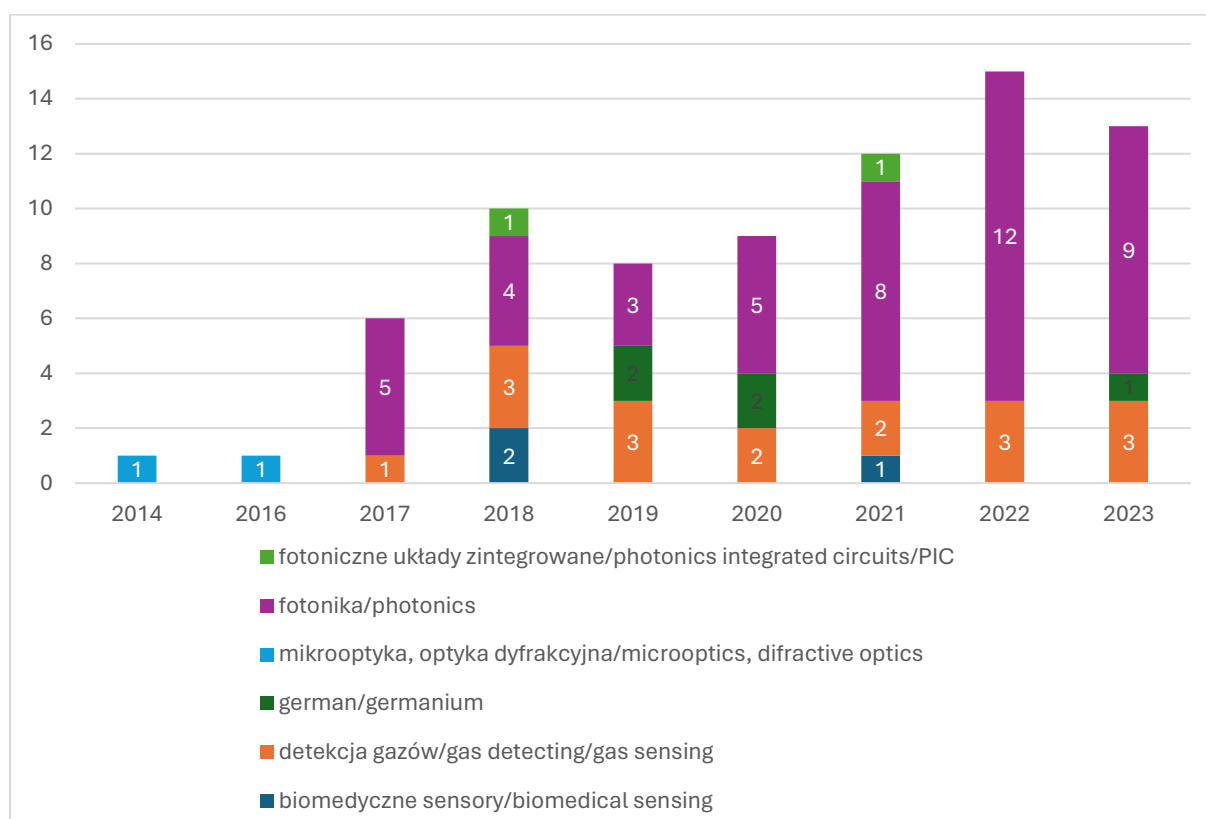
<sup>17</sup> Reszta afiliacji autorów publikacji w zakresie fotonicznych układów zintegrowanych: LightHouse Sp. z o.o., Airoptic Sp. z o.o.; Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki; Instytut Wysokich Ciśnień Polskiej Akademii Nauk Unipress.

<sup>18</sup> Reszta afiliacji autorów w zakresie fotonicznych czujników i detekcji gazu: Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki; Sieć Badawcza Łukasiewicz - PORT Polski Ośrodek Rozwoju Technologii; Wydział Chemii, Uniwersytet Wrocławski; Politechnika Wrocławska; Wojskowy Instytut Medycyny Lotniczej.

## 2.4. ANALIZA TRENDÓW W FINANSOWANIU PROJEKTÓW GRANTOWYCH W POLSCE

Analizę trendów w finansowaniu projektów grantowych oparto o system RAD-on<sup>19</sup>. System RAD-on jest częścią Zintegrowanej Sieci Informacji o Nauce i Szkolnictwie Wyższym, największego pod względem zakresu zbieranych danych systemu publicznego w Polsce. Poniższy wykres przedstawia wyniki wyszukiwania po słowach kluczowych w tytułach lub opisach projektów pokazując liczbę dofinansowanych inicjatyw naukowych z obszarów badawczych fotoniki w latach 2014-2023 w Polsce.

Wykres 3. Liczba dofinansowanych projektów naukowych z dziedziny fotoniki w podziale na obszary badawcze w Polsce w latach 2014-2023



Opracowanie własne na podstawie wyszukiwań w bazie RAD-on

Analiza uzyskanych wyników pozwala wysnuć następujące wnioski:

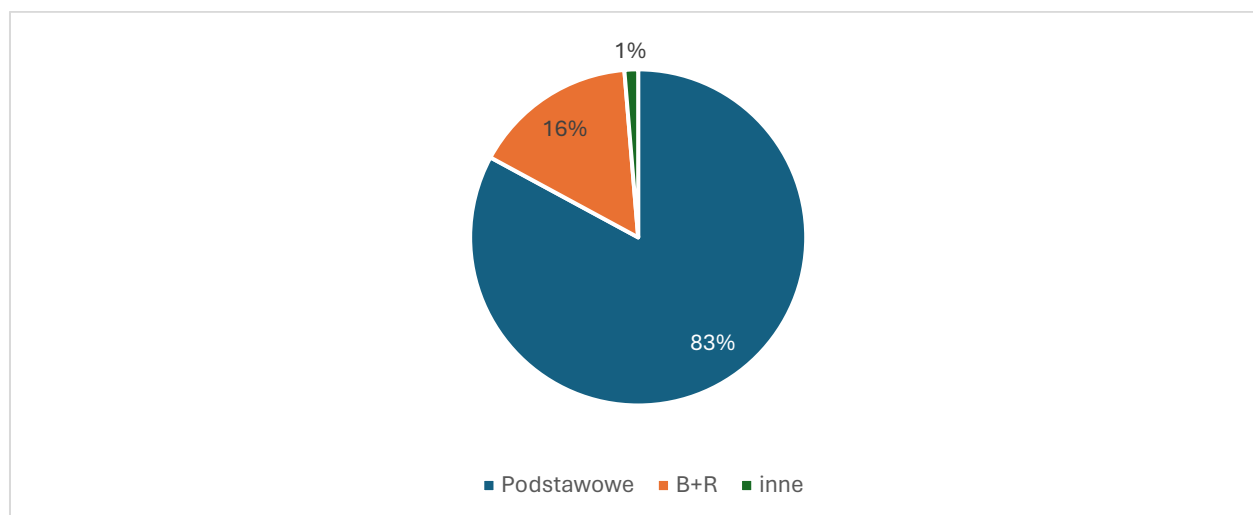
- Stałe, ograniczone do 1-2 dofinansowanych projektów obejmujących mikrooptykę i optykę dyfrakcyjną, germanu oraz biomedycznych sensorów, wsparcie projektów związanych. Projekty dotyczące mikrooptyki pojawiły się wyłącznie w 2 pierwszych latach perspektywy finansowej. Również stałą, lecz ograniczoną do zazwyczaj do 2-3 dofinansowanych projektów, liczbą charakteryzują się projekty dotyczące detekcji gazów. Tylko w 2017 r. projekt z tego obszaru badawczego wystąpił pojedynczo.
- Znaczący wzrost liczby realizowanych projektów dofinansowanych fotonice ramach fotoniki (ogółem) i fotonicznych układów zintegrowanych wskazuje na rosnące znaczenie tych technologii i potencjalny wzrost liczby wdrożeń innowacji w przyszłości.

<sup>19</sup> <https://radon.nauka.gov.pl/> (dostęp 25.03.2024 r.)

- Nie zidentyfikowano projektów w obszarze badawczym azotku krzemu i fotoniki.

Co więcej, dane w bazie RAD-on pozwalają na sprecyzowanie, z jakich środków i jakie rodzaje badań prowadzili wnioskodawcy. w ponad 80%, wnioskodawcy realizowali badania podstawowe – najczęściej były to projekty zgłaszane do konkursów OPUS (18 projektów), Horyzont 2020 (7 projektów), Preludium (6 projektów) i Sonata (5 projektów).

Wykres 4. Udział procentowy projektów z zakresu fotoniki realizowanych w ramach badań podstawowych oraz B+R w Polsce w latach 2013-2023



Opracowanie własne na podstawie wyszukiwań w bazie RAD-on

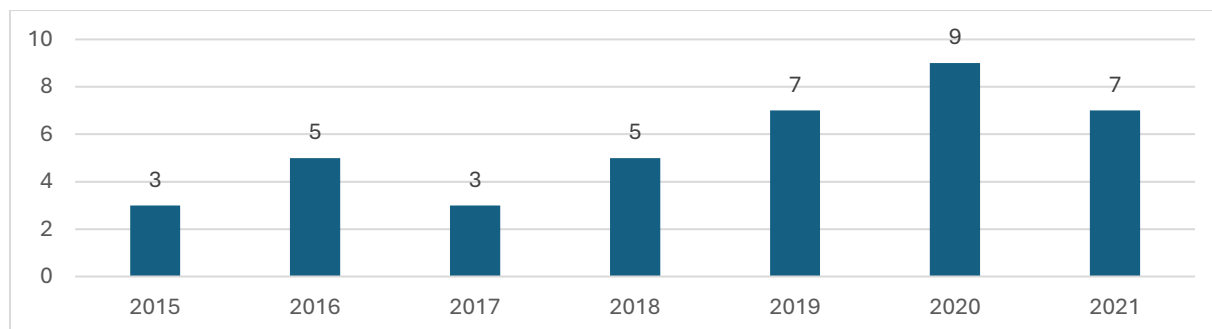
Powyższe dane rysują obraz fotoniki jako dynamicznie rozwijającej się dziedziny nauki w Polsce. Wzrost inwestycji w projekty badawcze i badawczo-rozwojowe w tej dziedzinie podkreśla jej potencjał. Ich zastosowanie może przyczynić się do rozwiązania aktualnych wyzwań i dalszego kształtowania przyszłości technologicznej. Przewaga liczby projektów realizowanych w ramach podstawowych nad B+R może być tłumaczona faktem, iż takie badania są kluczowe dla lepszego zrozumienia specyfiki poszczególnych zagadnień, przez co projekty wdrożeniowe korzystające z ich wyników mogą być mniej skuteczne. Badania podstawowe często mogą prowadzić do przełomowych odkryć. Organizacje finansujące mogą preferować projekty wdrożeniowe ze względu na ich potencjalne natychmiastowe zastosowanie, ale inwestowanie w badania podstawowe może być kluczowe dla długoterminowego postępu. Należy więc mieć na względzie, że w najbliższej przyszłości, wyniki badań podstawowych mogą być stopniowo wdrażane np. przy pomocy instrumentów finansowych do tego przeznaczonych takich jak TECHMASTRATEG. w programie tym współfinansowany jest aktualnie trwający projekt pt. *Technologie układów fotoniki scalonej na zakres średniej podczerwieni (MIRPIC)* realizowany przez konsorcjum składające się z VIGO Photonics S.A. (Lider Konsorcjum) oraz Sieć Badawczą Łukasiewicz – Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki oraz Politechnikę Warszawską. Efektem projektu ma być innowacyjny produkt w postaci specjalistycznych układów fotoniki scalonej (ASPIC), przeznaczonych do pracy w zakresie średniej podczerwieni, MidIR (3-5,5  $\mu\text{m}$ ). w szczególności, zostaną zaprojektowane, wytworzone i przetestowane poszczególne bloki funkcjonalne (building blocks) niezbędne do skonstruowania układów ASPIC. Ten proces umożliwi zaprojektowanie, wytworzenie i zbadanie parametrów demonstratora układu ASPIC. Demonstrator będzie odzwierciedlał typowe cechy charakterystyczne dla układów fotoniki scalonej, takie jak wielokanałowość, integracja na wspólnym podłożu, interfejsy elektroniczne i optyczne, oraz proces pakowania<sup>20</sup>.

<sup>20</sup> <https://vigophotonics.com/pl/o-nas/projekty-badawcze/techmatstrateg/> (dostęp 10.05.2024 r.)

## 2.5. ANALIZA TRENDÓW W DOFINANSOWANIACH UNIJNYCH W POLSCE POPRZECZ PRZEGLĄD DANYCH STATYSTYCZNYCH

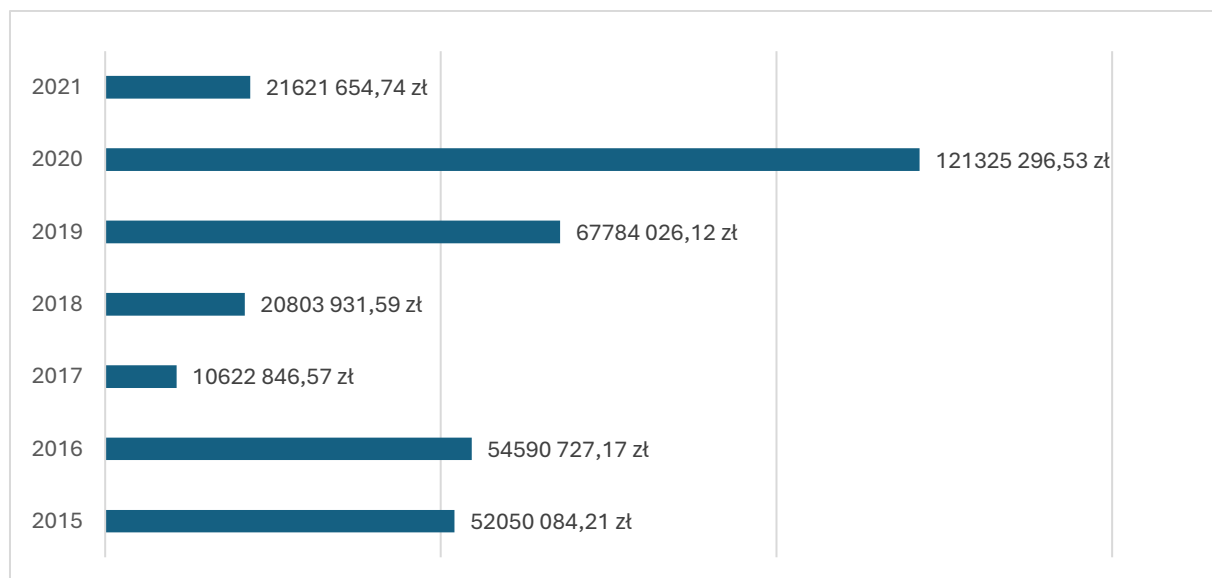
Do analizy wykorzystano listy projektów dofinansowanych w Polsce ze środków unijnych z lat 2014-2020 oraz 2021-2027 dostępnymi na stronie internetowej Portalu Funduszy Europejskich<sup>21</sup>. Należy jednak zaznaczyć, że projekty z zakresu fotoniki znajdują się tylko na liście projektów z lat 2014-2020. a ich łączna liczba wyniosła 39, o łącznej sumie dofinansowania 344 345 035,26zł.

Wykres 5. Liczba dofinansowanych z Funduszy Europejskich projektów naukowych i badawczo-rozwojowych z zakresu fotoniki w latach 2015-2021 w Polsce



Opracowanie własne na podstawie <https://www.funduszeuropejskie.gov.pl/strony/o-funduszach/projekty/lista-projektow/#/domyslne=1> (dostęp 25.03.2024)

Wykres 6. Kwoty dotacji na projekty naukowe i badawczo-rozwojowe z zakresu fotoniki w latach 2015-2021 w Polsce



Opracowanie własne na podstawie <https://www.funduszeuropejskie.gov.pl/strony/o-funduszach/projekty/lista-projektow/#/domyslne=1> (dostęp 25.03.2024)

Projekty zostały sfinansowane z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego (EFRR) najczęściej w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój (POIR) oraz programów regionalnych (RPO), szczególnie Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Lubelskiego na lata 2014-2020.

<sup>21</sup> <https://www.funduszeuropejskie.gov.pl/strony/o-funduszach/projekty/lista-projektow/#/domyslne=1> (dostęp 25.03.2024)

Wynika to przede wszystkim z faktu, iż w Lublinie działa Polskie Centrum Fotoniki i Światłowodów<sup>22</sup> oraz Klaster Fotoniki i Światłowodów<sup>23</sup>, których członkowie aplikowali o środki europejskie na badania i rozwój w dziedzinie fotoniki. Nie są to jednak jedyne klastry fotoniki działające w Polsce. Od 2013 r. działa Polska Platforma Technologiczna Fotoniki<sup>24</sup>. Mimo że działalność platformy w kontekście uzyskiwania dofinansowania ze środków europejskich jest skromna, tak działa ona na rzecz zwiększenia innowacyjności polskiego przemysłu fotonicznego poprzez koordynację działań przedsiębiorców, jednostek naukowych, administracji rządowej i samorządowej oraz organizacji pozarządowych. Platforma uczestniczy w projektach takich jak:

- **PhotonHub Europe** – Polska Platforma Technologiczna Fotoniki jest partnerem tego ogółouropejskiego projektu jako polski hub fotoniczny. PhotonHub Europe zapewnia szkolenia i miejsce do demonstracji rozwiązań, wsparcie biznesowe, networking<sup>25</sup>.
- **BSR DeepTech Launch** – dedykowany Zestaw Narzędzi wspierających przedsiębiorczość w obszarze zaawansowanych technologii. Narzędzia te mają inspirować studentów i młodych badaczy do zakładania własnych firm oraz zwiększać innowacje. Projekt obejmuje analizę potrzeb interesariuszy, wspólne warsztaty, pilotażowe testy rozwiązania, opracowanie ostatecznej formy narzędzi i szeroką dystrybucję wyników. Realne przykłady, interakcje i ćwiczenia wzmacniają umiejętności studentów. Implementacja narzędzi przygotuje ich do biznesu w różnych regionach i ułatwi współpracę międzynarodową<sup>26</sup>.
- **Photonics21** - Inicjatywa ma na celu wzmocnienie strategicznej autonomii Europy w tej krytycznej dziedzinie technologii poprzez wzmocnienie więzi z krajowymi ministerstwami, różnymi podmiotami finansowymi i firmami venture capital. Strategia skupi się nie tylko na priorytetach badawczych, ale także na wdrożeniach przemysłowych, w tym na ustanowieniu linii pilotażowych i odpowiednich warunków ramowych.
- **Klaster Mikroelektroniki, Elektroniki i Fotoniki** (microEPC) powołany w 2023 r. Inicjatorami powstania klastra byli Polska Platforma Technologiczna Fotoniki (Koordynator) oraz Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii Politechniki Warszawskiej CEZAMAT (lider współpracy badawczej). w skład klastra wchodzi 51 podmiotów komercyjnych i naukowych<sup>27</sup> – jest to zatem najliczniejszy klaster fotoniczny w Polsce.

Z grupy dofinansowanych wyróżnić należy projekt pt. *Hybrydowe platformy czujnikowe zintegrowanych układów fonicznych na bazie materiałów ceramicznych i polimerowych (HYPha)*<sup>28</sup> – realizowany w latach 2019 – 2023 w ramach EFRR; priorytet IV: Zwiększanie potencjału naukowo-badawczego, który wpisuje się w zainteresowania badawcze CEZAMAT PW. Realizowało go konsorcjum składające się z: Sieci Badawczej Łukasiewicz – PORT Polski Ośrodek Rozwoju Technologii (Lider Konsorcjum), Politechniki Wrocławskiej, Politechniki Śląskiej oraz Politechniki Warszawskiej. Celem projektu jest stworzenie sieci naukowej, skupiającej ośrodki specjalizujące się w dziedzinie optyki zintegrowanej. Współpraca zakładała stworzenie uniwersalnej platformy materiałowej opartej na nowo badanych materiałach hybrydowych opartych o związki krzemionkowe z dodatkiem m.in. TiO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub>,

<sup>22</sup> <https://pcfs.org.pl/> (dostęp 16.04.2023 r.).

<sup>23</sup> <https://klaster-fotoniki.pl/> (dostęp 16.04.2023 r.).

<sup>24</sup> <https://pptf.pl/> (dostęp 10.05.2024 r.)

<sup>25</sup> <https://pptf.pl/pptf/photohub-europe/> (dostęp 10.05.2024 r.)

<sup>26</sup> <https://pptf.pl/pptf-2/platform-project/deeptech-project/> (dostęp 10.05.2024 r.)

<sup>27</sup> <https://pptf.pl/klaster-mikroelektroniki-elektroniki-i-fotoniki/> (dostęp 10.05.2024 r.)

<sup>28</sup> <https://port.lukasiewicz.gov.pl/o-nas/projekty/projekt/hypha/> (dostęp 10.05.2024 r.)

wykorzystywane jako matryce strukturalne, powłoki polimerowe z domieszkami (warstwy aktywne lub zabezpieczające), barwniki organiczne oraz aktywne materiały dwuwymiarowe, takie jak dichalkogenki metali przejściowych, hybrydy grafenowe oraz azotek boru. Wszystkie te materiały wykazały w innych badaniach unikalne właściwości strukturalne, optyczne oraz elektryczne. Projekt obejmować będzie wytwarzanie i charakterystykę materiałów, technologię, projektowanie oraz wytwarzanie pasywnych i aktywnych komponentów<sup>29</sup>.

Kolejnym projektem wartym uwagi, choć nie uwzględnionym w statystykach z uwagi na brak oficjalnej informacji o uzyskaniu dofinansowania, jest HyperPIC, który ma realizować Vigo Photonics S.A.<sup>30</sup>. Jego efektem będą przełomowe układy scalone foniczne dla rynku podczerwieni, które umożliwią wprowadzenie zaawansowanych systemów sensorycznych do codziennego użytku oraz linii produkcyjnych zapewniających pełny łańcuch dostaw dla układów fotoniki scalonej w zakresie średniej podczerwieni. Dzięki temu VIGO będzie pierwszym producentem na świecie, który wprowadzi te rozwiązania na rynek. Projekt HyperPIC jest częścią europejskiego projektu Important Projects of Common European Interest in Microelectronics and Communication Technologies (IPCEI ME/CT), którego celem jest wzmocnienie europejskiej branży mikroelektronicznej. Oprócz VIGO Photonics, w projekcie zaangażowane są najważniejsze europejskie firmy półprzewodnikowe.

Aplikanci, którzy korzystali z POIR, realizowali prace w następujących działaniach i poddziałaniach:

1. 1. Wsparcie prowadzenia prac B+R przez przedsiębiorstwa; 1.1. Projekty B+R przedsiębiorstw; 1.1.1. Badania przemysłowe i prace rozwojowe realizowane przez przedsiębiorstwa (55,5% projektów);
2. 4. Zwiększenie potencjału naukowo-badawczego; 4.4. Zwiększanie potencjału kadrowego sektora B+R; Brak poddziałania (22,2% projektów);

Reszta przedsięwzięć w ramach POIR realizowana była w ramach sektorowych programów B+R, wspierania potencjału B+R, bonów i kredytów na innowacje, wsparcia wdrożeń.

Jeśli chodzi o RPO Województwa Lubelskiego na lata 2014-2020, w ramach tego programu zrealizowano 6 projektów. w pięciu przypadkach były to projekty realizowane w ramach:

1. 1. Badań i innowacji; 1.2. Badań celowych; Brak poddziałania;

oraz jednokrotnie na rzecz: 3. Konkurencyjność przedsiębiorstw; 3.7. Wzrost konkurencyjności MŚP; Brak poddziałania.

Jest to istotne tło pokazujące potencjał dla rozwoju i wdrażania technologii fonicznych, w obrębie których tworzą się nisze zbieżne z obszarami działań i usług oferowanych przez CEZAMAT PW. Wśród wymienionych projektów znajdują się inicjatywy takie jak EUREKA Photonics Call 2022 Mirror Group/Photonics21<sup>31</sup> - konkurs dedykowany dla prac rozwojowych skoncentrowanych na zintegrowanych czujnikach fonicznych nowej generacji w celu dalszego wykorzystania ich w komercyjny sposób. Dzięki takim projektom w perspektywie średnioterminowej tworzą się węższe obszary do zagospodarowania, które dalej rozwijane będą przez fundusze europejskie.

---

<sup>29</sup> <https://port.lukasiewicz.gov.pl/o-nas/projekty/projekt/hypha/> (dostęp 10.05.2024 r.)

<sup>30</sup> <https://vigophotonics.com/pl/komisja-europejska-zatwierdzila-wysokosc-pomocy-publicznej-do-kwoty-1029-mln-eur-dla-projektu-vigo-photonics/> (dostęp 10.05.2024 r.)

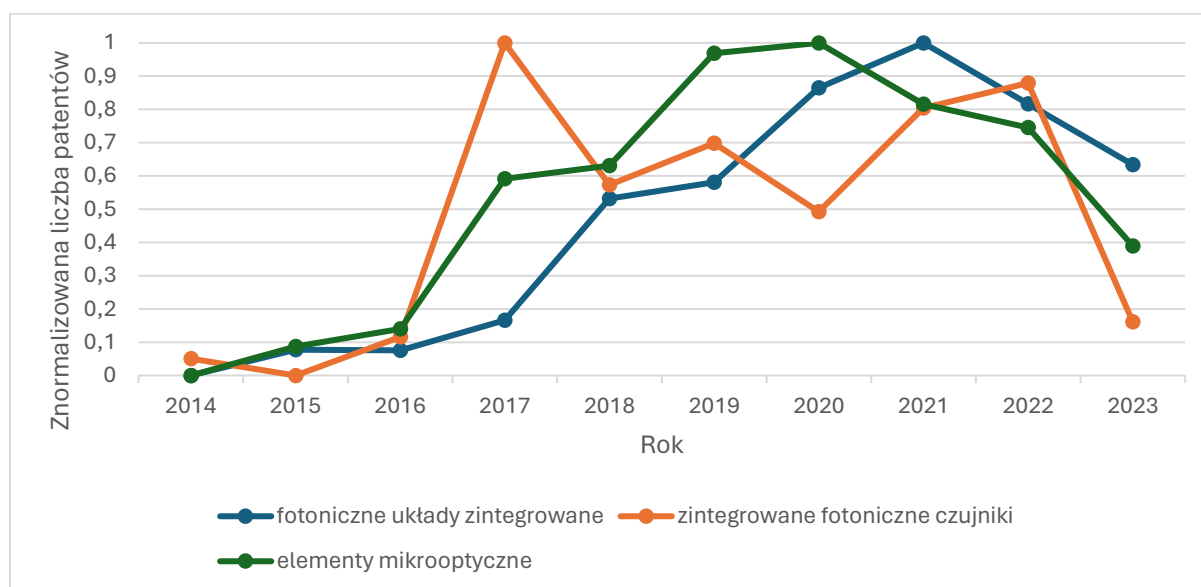
<sup>31</sup> <https://www.gov.pl/web/ncbr/eureka-photonics-call-2022-mirror-group-photonics21> (16.04.2024 r.)

## 2.6. ANALIZA TRENDÓW TECHNOLOGICZNYCH POPRZEC PRZEGLĄD PATENTÓW W SKALI GLOBALNEJ

Espacenet<sup>32</sup> prowadzony przez Europejski Urząd Patentowy (EPO) jest wszechstronną bazą danych patentowych udostępniającą ponad 100 milionów dokumentów patentowych z całego świata. Platforma ta umożliwia użytkownikom przeglądanie, wyszukiwanie zaawansowane oraz analizę danych patentowych, które mogą być wykorzystywane do późniejszej analizy trendów w danym obszarze technologicznym.

Prezentowany wykres ilustruje dynamikę zmian w liczbie zgłoszeń patentowych w kategoriach: 'fotoniczne układy zintegrowane', 'zintegrowane fotoniczne czujniki' oraz 'elementy mikrooptyczne' w okresie 2014-2023. w celu umożliwienia bezstronnego porównania tendencji w obrębie tych zróżnicowanych dziedzin, dane zostały znormalizowane. Takie podejście pozwala zidentyfikować wzorce i tendencje niezależnie od bezwzględnej liczby zgłoszeń patentowych, co jest kluczowe dla zrozumienia dynamiki innowacji w dziedzinie fotoniki.

Wykres 7. Porównanie trendów patentowych dla 3 kategorii w dziedzinie fotonika w latach 2014-2023



Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyszukiwań w bazie patentowej Espacenet

Pomimo różnic w liczbie zgłoszeń patentowych dane pokazują korelację trendów między kategoriami, może to wskazywać na wspólne kierunki rozwoju w branży fotoniki. Podobne tendencje w tych obszarach sugerują wzajemny wpływ segmentów. Wzrost w sektorze fotonicznych układów zintegrowanych był szczególnie widoczny w latach 2019-2021, jeżeli weźmiemy pod uwagę różnicę w bezwzględnej liczbie zgłoszeń patentowych (tabela poniżej). Jeśli chodzi jednak o zintegrowane czujniki fotoniczne, widać że gwałtowny wzrost nastąpił w 2017 r., aby potem oscylować wokół 1100 – 1400 patentów rocznie.

<sup>32</sup> <https://worldwide.espacenet.com/> (dostęp 25.03.2024)

Tabela 2. Liczba patentów dla przykładowych zapytań (promptów) w podziale na 3 kategorie w latach 2014-2023 w skali od wartości **najniższych** do **najwyższych**

| Prompt                                                                                                                                                                                                                | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   | 2019   | 2020   | 2021   | 2022   | 2023   |                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------------------------|
| ctxt any "Photonic Integrated Circuits" OR ctxt = "PIC" OR (ctxt = "material platform" AND ctxt any "silicon nitride" AND ctxt all "silicon-on-Insulator" AND ctxt = "SIO" AND ctxt any "germanium") OR ctxt = "PICs" | 127750 | 140345 | 140012 | 154640 | 213940 | 221867 | 267844 | 289766 | 259933 | 230395 | Fotoniczne układy zintegrowane   |
| ctxt all "Photonic Integrated Circuits" AND ftxt all "silicon nitride"                                                                                                                                                | 49     | 51     | 54     | 66     | 35     | 59     | 81     | 100    | 98     | 101    |                                  |
| ctxt all "Integrated photonics sensing" OR ctxt all "photonic gas detection" OR ctxt all "photonic gas sensing" OR ctxt all "biomedical sensing") AND pd within "2014-01-01:2023-12-31"                               | 139    | 136    | 131    | 305    | 216    | 240    | 195    | 252    | 246    | 144    | Zintegrowane fotoniczne czujniki |
| ftxt all "integrated photonics sensing" AND ctxt all "gas sensing"                                                                                                                                                    | 12     | 9      | 26     | 31     | 27     | 29     | 28     | 44     | 46     | 21     |                                  |
| (ctxt all "Microoptical elements" OR ctxt all "Diffractive optical elements" OR ctxt all "Diffractive optics") AND pd within "2014-01-01:2023-12-31"                                                                  | 702    | 757    | 806    | 1124   | 1155   | 1404   | 1427   | 1295   | 1248   | 979    | Elementy mikrooptyczne           |
| ctxt all "microoptical element"                                                                                                                                                                                       | 0      | 8      | 0      | 13     | 11     | 10     | 7      | 5      | 1      | 6      |                                  |
| Suma                                                                                                                                                                                                                  | 128652 | 141306 | 141029 | 156179 | 215384 | 223609 | 269582 | 291462 | 261572 | 231646 |                                  |

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyszukiwań w bazie patentowej Espacenet

Ogólny wzrost liczby patentów oraz skorelowane trendy między różnymi kategoriami świadczą o dynamicznym rozwoju w dziedzinie fotoniki i technologiach pokrewnych. Wysoka korelacja między trendami w różnych kategoriach wskazuje na dyfuzję innowacji, gdzie przełom w jednej technologii może pociągać za sobą rozwój w innych obszarach. Jeśli zatem wzrosty w obrębie obszarów były ze sobą skorelowane, także i tendencje spadkowe będą zbieżne. Jest to widoczne na podstawie zarówno danych znormalizowanych oraz bezwzględnych, głównie od 2020-2023 r., kiedy dane osiągnęły tendencje spadkowe.

### 3. ANALIZA BENCHMARKINGOWA BRANŻOWYCH PODMIOTÓW BADAWCZYCH NA RYNKU POLSKIM

W obliczu szybkiego postępu technologicznego i rosnącej globalnej konkurencji, zdolność do innowacji, efektywne wykorzystanie zasobów oraz budowanie skutecznych sieci współpracy stanowią kluczowe czynniki sukcesu w każdej dynamicznie rozwijającej się branży. W Polsce, sektor fotoniczny charakteryzuje się znacznym potencjałem, zarówno w zakresie badań naukowych, jak i ich aplikacji komercyjnych. Niniejszy rozdział ma na celu przeprowadzenie wszechstronnej analizy benchmarkingowej, która pozwoli ocenić pozycję polskich firm i ośrodków badawczych w branży fotonicznej. Pierwszym etapem analizy jest badanie specjalizacji polskich firm i z branży fotoniki aby zidentyfikować ich mocne strony i potencjalne nisze rozwojowe. Ważne jest również poddanie analizie realizowanych projektów badawczo-rozwojowych pod kątem innowacyjności i zastosowań

praktycznych. Następnie, analizie podlegają zasoby kadrowe i infrastrukturalne, kluczowe dla działalności B+R w sektorze fotoniki. Szczególną uwagę zwraca się na strategię zarządzania talentami i zaplecze infrastrukturalne, które wpływają na rozwój sektora. Ostatnim elementem jest ocena powiązań z podmiotami zewnętrznymi, takimi jak instytucje badawcze, uczelnie, przedsiębiorstwa i organizacje branżowe. Współpraca ta jest istotna dla wymiany wiedzy, dostępu do technologii i wspólnych projektów, co ma kluczowe znaczenie dla rozwoju branży fotonicznej.

Tabela 3. Zestawienie istotnych pomiotów specjalizujących się w fotonice

| PODMIOT                                                                                               | Zakres specjalizacji                                                                                                                                                                                | Wybrane projekty                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Zasoby                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Powiązania z innymi podmiotami                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Airoptic Sp. z o.o.</b> <sup>33</sup>                                                              | Firma produkuje wysokowydajne przestrzajalne analizatory laserowe do kontroli procesów przemysłowych, monitorowania emisji, a także do zastosowań związanych z bezpieczeństwem i ochroną.           | Czujniki oparte na elektronice organicznej, migawkowe filtry hiperspektralne i obrazowanie z podwójną aperturą. Monolityczne, szeroko przestrzajalne międzypasmowe lasery kaskadowe. Jednogłowicowy laserowy analizator gazowy. Opracowanie technologii struktur dla jednomodowych laserów kaskadowych do zastosowań w układach optycznych detekcji detalicznych. | Ważnym elementem sukcesu firmy jest kompetentna kadra zarządcza. Dyrektor generalny posiada tytuł doktora oraz jest autorem ponad 20 prac naukowych i twórcą 14 patentów w dziedzinie laserowych analizatorów gazów.                                                                                               | Airoptic ma partnerów dystrybucyjnych na całym świecie. Posiada również globalną sieć centrów serwisowych.                                                                                   |
| <b>Atestgaz A. M. Pachole sp. j.</b> <sup>34</sup>                                                    | Systemy detekcji i bezpieczeństwa gazowego, detektory gazów i symulatory, taśmy detekcyjne, sterowniki, moduły, sygnalizatory, czujniki.                                                            | Ulepszone metrologicznie optoelektroniczne czujniki gazu do przemysłowych systemów bezpieczeństwa.                                                                                                                                                                                                                                                                | Własne rozbudowane laboratorium badawcze, w którym odbywają się badania związane z funkcjonowaniem czujników gazu w różnych warunkach. Wysokie kompetencje kadry z zakresu fotoniki.                                                                                                                               | Współpraca z ośrodkami akademickimi i firmami zagranicznymi. Atest Gaz został członkiem Polskiej Izby Przemysłu Chemicznego. Były również pozyskiwane fundusze na internacjonalizację firmy. |
| <b>Sieć Badawcza Łukasiewicz (w szczególności Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki)</b> <sup>35</sup> | Fotonika, grafen, GaN, lasery QCL, charakterystyka materiałów i przyrządów, układ scalony i mikrosystemy, internet rzeczy i sensory, energoelektronika, telemedycyna, przemysł obronny i kosmiczny. | Identyfikacja mechanizmów i badania procesu wytwarzania grafenu płatkowego metodą bezpośredniej eksfoliacji z zastosowaniem ditlenku węgla w stanie nadkrytycznym PROAPLIKA – kamera termowizyjna MIRPIC- Technologie układów fotoniki scalonej na zakres średniej podczerwieni                                                                                   | Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki, Instytut Tele- i Radiotechniczny, Instytut Elektrotechniki. 440 laboratoriów B+R, 3762 urządzeń kluczowej aparatury, w tym 497 unikatowej aparatury w skali Polski. w całym Łukasiewiczu realizuje się blisko 4500 pracowników pionu badawczego i inżynieryjno-technicznego. | Łukasiewicz posiada swoje instytuty w 12 miastach.                                                                                                                                           |
| <b>Vigo Photonics S.A.</b> <sup>36</sup>                                                              | Płytki Epi i technologia VCSEL, detektory podczerwieni, moduły detekcji podczerwieni.                                                                                                               | Polski układ podczerwieni do zastosowań kosmicznych. System rozpoznania materiałów wybuchowych i ładunków wybuchowych (HYPERION) z obrazowaniem hiperspektralnym. Czujniki i sieci terahercowe dla inteligentnych samochodowych systemów elektronicznych nowej generacji.                                                                                         | Firma posiada bogate zaplecze badawczo-rozwojowe. Prezes zarządu posiada wykształcenie w zakresie elektroniki i doktorat z nauk technicznych. Od 20 lat wprowadza do firmy innowacyjne pomysły.                                                                                                                    | Firma posiada autoryzowanych dystrybutorów w 18 krajach. Należy do Związku Pracodawców Polska Platforma Technologiczna Fotoniki, Rady Interesariuszy Partnership Photonics21.                |
| <b>XTPL S.A.</b> <sup>37</sup>                                                                        | Druk nanomateriałów, biosensory.                                                                                                                                                                    | Opracowanie przełomowej technologii druku mikrometrycznych struktur przewodzących 3D z wykorzystaniem innowacyjnej głowicy zdolnej do druku na podłożach nieplanarnych oraz kompatybilnego tuszu, do zastosowań w elektronice drukowanej. Opracowanie innowacji produktowej w obszarze ultraprecyzyjnego druku nanomateriałów.                                    | Firma posiada bogate zaplecze laboratoryjne oraz rozwiniętą kadrę. Zarząd składa się z osób z wieloletnim międzynarodowym doświadczeniem. Prezesem zarządu jest autor 70 publikacji naukowych i 30 międzynarodowych zgłoszeń patentowych i patentów.                                                               | Podmiot korzystał z funduszy aby opracować strategię ekspansji na rynek USA.                                                                                                                 |
| <b>SDS Optics S.A.</b> <sup>38</sup>                                                                  | Komponenty fotelektroniczne stosowane w optoelektronice i urządzeniach medycznych.                                                                                                                  | Opracowanie innowacyjnej technologii wytwarzania mikrosond laserowych Optyczny sensor biochemiczny. Wsparcie promocji oraz internacjonalizacji urządzenia medycznego służącego do wykrywania substancji aktywnych biologicznie.                                                                                                                                   | Rada Naukowa SDS Optic S.A. to organ wspierający rozwój projektów technologicznych firmy. w skład Rady wchodzi wybitni naukowcy, lekarze i specjaliści z wielu różnych dziedzin nauki. Celem gremium jest wsparcie działań R&D Spółki SDS Optic, a także doradztwo                                                 | Firma ma wspólne projekty z Krakowskim Parkiem Technologicznym. Jednostka posiada swoje centrum R&D w Stanach Zjednoczonych.                                                                 |

<sup>33</sup> <https://www.airoptic.pl/> (dostęp 30.04.2024 r.)

<sup>34</sup> <https://www.atestgaz.pl/home> (dostęp 30.04.2024 r.)

<sup>35</sup> <https://imif.lukasiewicz.gov.pl/> (dostęp 30.04.2024 r.)

<sup>36</sup> <https://vigophotonics.com/> (dostęp 30.04.2024 r.)

<sup>37</sup> <https://xtpl.com/> (dostęp 30.04.2024 r.)

<sup>38</sup> <https://sdsoptic.pl/> (dostęp 30.04.2024 r.)

|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Inframet | Systemy pomiarowe, moduły pomiarowe, symulatory.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Brak danych                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | w zakresie technologii, strategii i kwestii biznesowych związanych z nauką.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|          | Instytut Wysokich Ciśnień Polskiej Akademii Nauk, znany również jako Unipress, jest wiodącym ośrodkiem badawczym w dziedzinie fizyki i technologii półprzewodników oraz inżynierii materiałowej.<br><br>Instytut Wysokich Ciśnień Polskiej Akademii Nauk jest rozpoznawalny na świecie z unikalnej wiedzy i doświadczenia w zakresie krystalizacji objętościowych kryształów azotku galu (GaN). Badania realizowane w Instytucie obejmują fizykę i epitaksję półprzewodników azotkowych, wytwarzanie biomateriałów, badania materii miękkiej i szkieł, fizykę promieniowania THz i inne obszary. Unipress opracowuje i wytwarza urządzenia wysokociśnieniowe do laboratoriów badawczych na całym świecie. | Instytut może pochwalić się listą realizowanych aktualnie i zrealizowanych interdyscyplinarnych projektów badawczych: <ul style="list-style-type: none"> <li>Tunnel junction and its applications for GaN based optoelectronics</li> <li>EnerGaN</li> <li>EnerGaN - basic info</li> <li>MAB CENTERA</li> <li>NANODAK – projekt NCBiR na rzecz Obronności i Bezpieczeństwa</li> <li>Pressure Treated Glasses for Increased Thermal Conductivity</li> <li>RelyLa</li> <li>BrIVi: Brilliant high power violet emitting laser diode</li> <li>TEAM TECH prof. dr hab. Piotr Perlin</li> <li>TEAM prof. dr hab. Michał Leszczyński</li> <li>OPUS dr inż. Anna Kafar</li> </ul> Ponad to, Unipress zrealizował projekt budowy infrastruktury oraz rozbudowę laboratoriów Parku Innowacyjnego Unipress Celestynów. | Firma posiada bogate zaplecze laboratoryjne oraz często wydaje publikacje naukowe.<br><br>Unipress posiada wysokokwalifikowaną kadrę naukową podzieloną na grupy badawcze skupione wokół 15 laboratoriów. z punktu widzenia fotoniki, kluczowe są: <ul style="list-style-type: none"> <li>Laboratorium Fizyki Półprzewodników Azotkowych;</li> <li>Laboratorium Badań Mikrostrukturalnych Półprzewodników;</li> <li>Laboratorium Syntezy Amonotermalnej;</li> <li>Laboratorium Przyrządów Optoelektronicznych;</li> <li>Laboratorium Promieniowania Terahercowego.</li> </ul> Oprócz tego, do zasobów Unipress'u można zaliczyć także spółkę celową TopGaN <sup>40</sup> produkującą zaawansowane emiterzy światła widzialnego i UV, oparte na technologii azotku galu, działające w zakresie spektralnym 395-461 nm, w tym: <p>Diody laserowe o przestrajalnej długości fali (External Cavity Laser Diodes)</p> <p>Półprzewodnikowe wzmacniacze optyczne</p> <p>Diody superluminescencyjne</p> <p>Zdefiniowane na zamówienie fotoniczne układy scalone.</p> | Firma posiada 16 dystrybutorów w 9 krajach oraz klientów w 40 krajach.<br><br>Powiązania z innymi podmiotami wynikają wyłącznie z przeprowadzonych projektów konsorcjalnych. Unipress współpracował z: <ul style="list-style-type: none"> <li>Politechnika Warszawska;</li> <li>Politechniką Rzeszowską;</li> <li>Instytutem Obróbki Plastycznej;</li> <li>Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii Politechniki Warszawskiej;</li> <li>Uniwersytet Goethego we Frankfurcie (GUF, Niemcy),</li> <li>Instytut Elektroniki, Mikroelektroniki i Nanotechnologii w Lille (IEMN);</li> <li>Uniwersytet w Pizie; Instituto Nanoscienze w Pizie;</li> <li>Laboratorium Charlesa Coulomba i Uniwersytet w Montpellier;</li> <li>RIKEN THz Center;</li> <li>Uniwersytet Tohoku w Sendai;</li> <li>Uniwersytet w Osace;</li> <li>Ferdinand-Braun-Institut;</li> <li>Eagleyard Photonics;</li> <li>Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut fuer Hoechstfrequenztechnik;</li> <li>Eagleyard Photonics;</li> </ul> Trudno jednak określić trwałość tej współpracy. |

<sup>39</sup> <https://www.unipress.waw.pl/> (dostęp 30.04.2024 r.)

<sup>40</sup> <https://topganlasers.com/> (dostęp 16.04.2024 r.)

W wyniku dokładnego przeglądu najbardziej perspektywicznych podmiotów, wskazano lidera sektorowego. Największy potencjał rozwojowy ma Sieć Badawcza Łukasiewicz. Charakteryzuje się dużą siatką podmiotów ukierunkowanych na badania i rozwój, ale posiada aż trzy instytuty, które działają w zakresie fotoniki: Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki, Instytut Tele- i Radiotechniczny, Instytut Elektrotechniki. Podmiot oferuje też wsparcie w pozyskiwaniu środków krajowych i zagranicznych. Przewagą konkurencyjną omawianego podmiotu jest to, że proponuje profesjonalny i szybki proces łączenia wiedzy z biznesem. Ważna jest również kompleksowa usługa, która zapewnia pomoc firmom poprzez oferowanie zespołu ekspertów, zaplecza technologicznego, szybkiego czasu realizacji, możliwości finansowania oraz certyfikowanych usług.

## 4. ANALIZA WYNIKÓW EKSPERCKIEJ METODY DELFICKIEJ

Metoda delficka jest jedną z metod heurystycznych, w ramach których wykorzystuje się wiedzę, doświadczenie oraz opinie ekspertów z danej dziedziny do wspólnej identyfikacji tezy lub tez. Badanie zostało podzielone na dwa etapy, które obejmowały po trzy ankiety z każdego zagadnienia:

- Fotoniczne układy scalone – PIC – platforma materiałowa: azotek krzemu, krzem na izolatorze, german;
- Zintegrowane fotoniczne czujniki, biomedyczne sensory, detekcja gazów;
- Elementy mikrooptyczne, optyka dyfrakcyjna.

**I etap badania** zakładał wskazanie nisz rynkowych, perspektyw rozwoju, określenia celów zrównoważonego rozwoju oraz potencjału kadrowego i infrastrukturalnego CEZAMAT PW w dziedzinie fotoniki.

Wyniki badania ankietowego wskazują, że najbardziej perspektywiczne nisze rynkowe w obszarze fotonicznych układów scalonych (PIC) na platformie materiałowej w postaci azotku krzemu, krzemu na izolatorze i germanu obejmują:

- Rozwój zaawansowanych systemów LiDAR;
- Lab-on-a-chip;
- Transmisję danych;
- Systemy detekcji gazów i cieczy w zakresie średniej podczerwieni, także w połączeniu z lab-on-a-chip;
- Systemy komunikacji w wolnej przestrzeni.

W przypadku najbardziej perspektywicznych nisz rynkowych w obrębie zagadnienia "Zintegrowane fotoniczne czujniki, biomedyczne sensory, detekcja gazów" zidentyfikowano:

- Digital health monitoring - monitorowanie parametrów życiowych osób starszych, noworodków, osób niepełnosprawnych, nieinwazyjny monitoring pacjentów w szpitalach, hospicjach, zakładach opiekuńczo-leczniczych.
- Systemy wearables, wellbeing, udogodnienia dla sportowców-amatorów.
- Monitorowanie gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń w środowisku naturalnym, w rolnictwie.

Z kolei najbardziej perspektywiczne nisze rynkowe dla zagadnienia "Elementy mikrooptyczne, optyka dyfrakcyjna" to:

- Optyczne i nawigacyjne systemy dronów, w tym także wojskowych.
- Technologie wspomagające dla systemów i urządzeń fotonicznych, dyfrakcyjnych, światłowodowych i realizowanych w technologii fotoniki scalonej.
- Noktowizja, obiektywy o pogłębionej ostrości.

Tabela 4. Perspektywy rozwoju obszarów w fotonice zdaniem ekspertów CEZAMAT PW

|                                                                                                                | Fotoniczne układy scalone – PIC – platforma materiałowa: azotek krzemu, krzem na izolatorze, german |        |        | Zintegrowane fotoniczne czujniki, biomedyczne sensory, detekcja gazów |        |        | Elementy mikrooptyczne, optyka dyfrakcyjna |        |        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|-----------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------------------------------------------|--------|--------|
|                                                                                                                | Świat                                                                                               | Europa | Polska | Świat                                                                 | Europa | Polska | Świat                                      | Europa | Polska |
| "New normal" - aktualnie wiodące trendy                                                                        | 0%                                                                                                  | 0%     | 0%     | 0%                                                                    | 0%     | 0%     | 75%                                        | 33%    | 0%     |
| "Reactive zone" - perspektywa krótkoterminowa, dziedzina potrzebuje 1-5 lat, aby stać się trendem wiodącym     | 50%                                                                                                 | 50%    | 67%    | 67%                                                                   | 100%   | 67%    | 25%                                        | 67%    | 100%   |
| "Innovation zone" - perspektywa średnioterminowa, dziedzina potrzebuje 5-20 lat, aby stać się trendem wiodącym | 50%                                                                                                 | 50%    | 33%    | 33%                                                                   | 0%     | 33%    | 0%                                         | 0%     | 0%     |

Opracowanie własne

Jednym z pytań skierowanych do ekspertów CEZAMAT PW była próba określenia perspektyw rozwojowych i trendów w najbliższej przyszłości dla każdego z obszarów badawczych. Metodologię oparto o Mapę Trendów opracowaną przez Infuture Institute<sup>41</sup>. Na podstawie danych z tabeli, w dziedzinie technologii fotonicznych, zdaniem ekspertów CEZAMAT PW w skali światowej obserwowany jest trend w kierunku rozwoju elementów mikrooptycznych, które są już uznane za aktualnie wiodący trend. w skali europejskiej z kolei Europa w większości znajduje się w „reactive zone” jeśli chodzi o technologie fotoniczne, więc w perspektywie krótkoterminowej technologie te powinny zostać upowszechnione. Polska z kolei znajduje się w „innovation zone”, gdzie wskazane technologie w perspektywie średnioterminowej staną się popularne.

Tabela 5. Stopień, w jakim rozwój obszarów w fotonice przyczyni się do osiągnięcia następujących celów zrównoważonego rozwoju zdaniem specjalistów CEZAMAT PW

|                                          | Fotoniczne układy scalone - PIC – platforma materiałowa: azotek krzemu, krzem na izolatorze, german | Zintegrowane fotoniczne czujniki, biomedyczne sensory, detekcja gazów | Elementy mikrooptyczne, optyka dyfrakcyjna |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Ambitne cele klimatyczne                 | 14%                                                                                                 | 13%                                                                   | 0%                                         |
| Czysta, bezpieczna i tania energia       | 14%                                                                                                 | 20%                                                                   | 0%                                         |
| Efektywny energetycznie sektor budowlany | 0%                                                                                                  | 0%                                                                    | 0%                                         |
| Gospodarka Obiegu Zamkniętego            | 0%                                                                                                  | 7%                                                                    | 0%                                         |
| Eliminowanie zanieczyszczeń              | 14%                                                                                                 | 20%                                                                   | 0%                                         |

<sup>41</sup> <https://infuture.institute/mapa-trendow/#choose> (dostęp 16.04.2024).

|                                                |     |     |     |
|------------------------------------------------|-----|-----|-----|
| Zrównoważony i inteligentny transport          | 21% | 20% | 33% |
| Ochrona ekosystemów i bioróżnorodności         | 14% | 7%  | 17% |
| Zrównoważone rolnictwo i system żywnościowy    | 14% | 13% | 17% |
| Inne np. (edukacja, zdrowie, dostępność i in.) | 7%  | 0%  | 33% |

*Opracowanie własne*

Eksperci CEZAMAT PW zostali także poproszeni o wskazanie poziomu, w jakim rozwój obszarów w fotonice przyczyni się do osiągnięcia następujących celów zrównoważonego rozwoju, zbieżnych z założeniami Europejskiego Zielonego Ładu<sup>42</sup>. Zdaniem ekspertów CEZAMAT PW, osiągnięcia z zakresu fotoniki pomogą w realizacji wielu celów. Fotoniczne układy zintegrowane oraz czujniki nie zostały wskazane w kategorii efektywnego energetycznie sektora budowlanego. z kolei w przypadku rozwiązań mikrooptycznych znajdują one szczególne zastosowanie w obrębie zrównoważonego i inteligentnego transportu.

*Tabela 6. Samocena potencjału kadrowego i infrastrukturalnego CEZAMAT PW, aby świadczyć usługi / dostarczać produkty B+R w poszczególnych obszarach*

|       | Fotoniczne układy scalone - PIC – platforma materiałowa: azotek krzemu, krzem na izolatorze, german | Zintegrowane fotoniczne czujniki, biomedyczne sensory, detekcja gazów | Elementy mikrooptyczne, optyka dyfrakcyjna |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| ☆     |                                                                                                     |                                                                       |                                            |
| ☆☆    |                                                                                                     |                                                                       | 33%                                        |
| ☆☆☆   | 33%                                                                                                 | 33%                                                                   |                                            |
| ☆☆☆☆  | 67%                                                                                                 | 67%                                                                   | 67%                                        |
| ☆☆☆☆☆ |                                                                                                     |                                                                       |                                            |

*Opracowanie własne*

Eksperci CEZAMAT PW dokonali także samooceny pod względem zasobów kadrowych jak i infrastrukturalnych. w obszarze fonicznych układów scalonych oraz czujników i biosensorów potencjał CEZAMAT określono na 3 (33% odpowiedzi) i 4 (67% odpowiedzi) w pięciostopniowej skali. w przypadku obszaru elementów mikrooptycznych, potencjał CEZAMAT w tym zakresie oceniono na 2 (33% odpowiedzi) oraz 4 (67% odpowiedzi). Taka samoocena wskazuje na potrzeby w zakresie podniesienia potencjału. **II etap badania** miał na celu pogłębienie wyników uzyskanych w I etapie, ograniczając się do argumentacji doboru nisz rynkowych w fotonice.

### Fotoniczne Układy Scalone

Ankieta dotycząca perspektyw rozwoju fotonicznych układów scalonych i potencjału CEZAMAT PW w tym obszarze dostarcza cennych wskazówek na temat obecnych trendów i wyzwań. Wyniki wskazują na trzy kluczowe nisze, które obecnie uznaje się za najbardziej perspektywiczne:

- Zaawansowane systemy LiDAR uznano za jedną z najbardziej obiecujących nisz, znajdującą zastosowanie w różnych branżach, takich jak motoryzacja, lotnictwo i automatyzacja produkcji. Integracja tych systemów z fotonicznymi układami scalonymi może znacząco zmniejszyć ich masę, wymiary oraz zapotrzebowanie na energię, jednocześnie zwiększając niezawodność mechaniczną i obniżając koszty produkcji dzięki możliwościom masowej produkcji.

<sup>42</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN> (dostęp 16.04.2024 r.)

- Wykorzystanie fotonicznych układów scalonych w systemie lab-on-a-chip umożliwia wielokrotne zastosowanie oraz wykrywanie niewielkich stężeń związków, co zwiększa czułość urządzeń w diagnostyce medycznej i badaniach naukowych.
- Zastosowanie fotonicznych układów scalonych w detekcji gazów i cieczy pozwala na miniaturyzację systemów, ograniczenie zapotrzebowania na energię oraz obniżenie kosztów produkcji. Wysoka precyzja detekcji gazów ma znaczenie w przemyśle i monitoringu jakości powietrza.

Oceniając zasoby CEZAMAT PW, badanie wskazuje, że obecnie posiada on średni do wysokiego potencjał infrastrukturalny i kadrowy do realizacji działań B+R w wymienionych obszarach. Zdaniem respondentów, w ciągu 1-5 lat CEZAMAT mógłby stać się wiodącym ośrodkiem badawczym w Polsce, pod warunkiem zwiększenia liczby kadry i rozbudowy infrastruktury. Jednakże, aby osiągnąć ten cel, konieczne jest przezwycięzenie istniejących barier, takich jak: brak specjalistów w danej dziedzinie, potrzeba objęcia urządzeń technologicznych umowami serwisowymi, co miałyby na celu utrzymanie wysokiej jakości procesów badawczych i eliminowanie przestojów związanych z awariami.

### Elementy mikrooptyczne, optyka dyfrakcyjna

Ankieta skupia się na potencjale i perspektywach rozwoju w obszarze elementów mikrooptycznych i optyki dyfrakcyjnej, a także na możliwościach CEZAMAT PW w tym kontekście.

- Optyczne systemy nawigacyjne i obserwacyjne dronów są wskazywane jako obiecująca nisza, głównie ze względu na ich szerokie zastosowanie w różnych dziedzinach, od rolnictwa do wojskowości. Kluczowym czynnikiem jest tutaj możliwość zredukowania masy dronów przez zastosowanie lżejszych soczewek, np. soczewek Fresnela, co przekłada się na dłuższy czas lotu i mniejsze ograniczenia udźwigu.
- Noktowizja uznana została za jedną z najbardziej perspektywicznych nisz, gdzie zastosowanie mikrooptyki i optyki dyfrakcyjnej pozwala na znaczące ulepszenia, takie jak zwiększenie głębi ostrości, poszerzenie kąta widzenia oraz redukcja masy urządzeń. Takie innowacje mogą mieć szerokie zastosowanie nie tylko w obszarze wojskowym, ale i w bezpieczeństwie cywilnym, ratownictwie i rekreacji.
- Wspomaganie systemów i urządzeń fotonicznych jest kolejną niszą z dużym potencjałem, głównie dzięki możliwości lepszego sprzęgania sygnału optycznego między fotonicznymi układami scalonymi a światłowodami włóknowymi za pomocą mikrosoczewek. To podkreśla znaczenie elementów mikrooptycznych w rozwoju zaawansowanych systemów telekomunikacyjnych i innych technologii opartych na fotonice.

W odniesieniu do potencjału CEZAMAT PW, ocena ta ujawnia, że obecny potencjał infrastrukturalny i kadrowy w zakresie elementów mikrooptycznych i optyki dyfrakcyjnej jest średni, jednak z perspektywą na znaczące ulepszenia w ciągu najbliższych 1-5 lat, pod warunkiem zogniskowania działań na rozwoju odpowiednich grup badawczych. Czynniki hamujące rozwój w tym obszarze to głównie braki kadrowe i konieczność określenia priorytetów rozwojowych. Wyzwania te wskazują na potrzebę strategicznego planowania i inwestycji w zasoby ludzkie oraz infrastrukturę badawczą, aby skutecznie wykorzystać potencjał w wymienionych niszach.

Ankieta dotycząca potencjału i perspektyw rozwoju zintegrowanych fotonicznych czujników ujawnia znaczące zainteresowanie w dwóch kluczowych obszarach: detekcji gazów do monitoringu zanieczyszczeń oraz biosensorach w urządzeniach telemedycznych.

- Perspektywy rozwojowe obszaru detekcji gazów wynikają głównie z globalnego nacisku na monitorowanie i redukcję zanieczyszczeń. Charakterystyczne znaczniki gazów, wynikające z absorpcji promieniowania (np. podczerwonego), umożliwiają precyzyjne monitorowanie jakości powietrza. Fotoniczne układy scalone oferują tutaj kluczowe korzyści, takie jak miniaturyzacja, redukcja zapotrzebowania na energię oraz obniżenie kosztów produkcji na dużą skalę. Ta nisza łączy w sobie istotne aspekty ekologiczne, technologiczne oraz ekonomiczne, czyniąc ją atrakcyjnym kierunkiem badań i rozwoju.
- Zainteresowanie biosensorami w telemedycynie odzwierciedla rosnący trend zdalnego monitorowania stanu zdrowia pacjentów. Wykorzystanie fotonicznych układów scalonych w tego rodzaju urządzeniach pozwala na precyzyjne i nieinwazyjne monitorowanie kluczowych wskaźników zdrowotnych, takich jak puls, temperatura, ale również diagnostyka poważnych schorzeń medycznych jak nowotwory. Perspektywy rozwojowe tego obszaru determinowane są głównie poprzez rosnące zapotrzebowanie na szybką i efektywną diagnostykę, przy jednoczesnym generowaniu oszczędności. Ponadto, umożliwiają pacjentom samodzielne zarządzanie stanem zdrowia oraz oferują lekarzom narzędzia do zdalnej diagnostyki.

Potencjał CEZAMAT PW w zakresie działalności badawczo-rozwojowej w obszarze zintegrowanych fotonicznych czujników został oceniony jako średni, ale z tendencją do wysokiego. Wskazuje to na solidną bazę do dalszego rozwoju, choć istnieją znaczące wyzwania. Aby CEZAMAT PW mógł zająć wiodącą pozycję w wymienionych niszach w perspektywie 1-5 lat, konieczne jest rozbudowanie kadry, określenie priorytetów badawczych oraz zapewnienie niezawodności infrastruktury przez regularne serwisy. Braki kadrowe oraz problemy z infrastrukturą, w tym awarie wynikające z braku serwisów, są głównymi czynnikami hamującymi rozwój. Rozwiązanie tych problemów będzie kluczowe dla zapewnienia ciągłości i jakości badań, co jest niezbędne do utrzymania konkurencyjności w dynamicznie rozwijającym się sektorze fotonicznych technologii sensorowych.

## 5. ANALIZA WYNIKÓW EKSPERCKIEJ IDENTYFIKACJI OBSZARÓW PERSPEKTYWICZNYCH

Z pierwszego przeprowadzonego wywiadu IDI z ekspertem w dziedzinie fotoniki wynikają następujące wnioski dotyczące branży, jej trendów, zastosowań, zagrożeń i perspektyw:

### Trendy:

- Istotny wzrost zainteresowania fotoniką kwantową oraz układami scalonymi w kontekście przesyłania danych.
- Rozwój światłowodów i zintegrowanych źródeł światła z modulatorami na podłożu krzemowym, obejmujący zarówno elementy pasywne, jak i komplementarne technologie hybrydowe łączące krzem z innymi materiałami.

- Fotonika kwantowa skupia się na manipulacji pojedynczymi fotonami, wykorzystując te same technologie co tradycyjna fotonika.

#### **Zagrożenia:**

- Polska pozostaje w tyle za krajami zachodnimi i azjatyckimi, częściowo ze względu na brak zakładów produkcyjnych. Świadectwem dużego potencjału i zapotrzebowania na rozwiązania fotoniczne mogą być Niemcy, gdzie pracuje około 20 000 zakładów produkcyjnych.
- W Polsce znajduje się mało jednostek, które mogą przyczynić się do rozwoju branży, szczególnie w zakresie średniej podczerwieni, co skutecznie spowalnia rozwój rynku krajowego.
- Wysokie koszty wytwarzania wymagają dofinansowania oraz inwestycji w zasoby, umiejętności i specjalistów.

#### **Mitygacja zagrożeń:**

- Możliwość częściowej mitygacji zagrożeń poprzez współpracę z przedsiębiorstwami i zlecenia komercyjne, ponieważ wiele podmiotów nie dysponuje odpowiednim wyposażeniem oraz umiejętnościami. Zaletą CEZAMAT PW jest koncentracja infrastruktury niezbędnej do prac badawczo-rozwojowych.
- CEZAMAT PW może pełnić rolę centrum technologicznego, łączącego różne aspekty produkcji i badawcze, co sprzyjałoby szybkiej realizacji projektów.

#### **Perspektywy rozwoju:**

- Integracja fotoniki, szczególnie w kontekście technologii SOI (silicon-on-insulator), stanowi wiodący trend, ale nie w Polsce, mimo że istnieje duży potencjał rozwoju.
- Detekcja gazów i biosensory mają różne perspektywy rozwoju w zależności i zastosowanej technologii.
- Biosensory i fotonika do zastosowań biomedycznych mogą być kierunkami o znacznym wzroście w ciągu najbliższych 1-5 lat.

#### **Potencjał komercyjny:**

- Fotonika scalona i detekcja gazów wykazują duży potencjał komercyjny, podobnie jak biosensory.

#### **Rekomendacje rozwoju:**

- Rozwój kadry i akumulacja doświadczenia poprzez edukację i zatrudnienie w branży, aby przeciwdziałać brakowi specjalistów na rynku pracy.

Drugi wywiad IDI z ekspertem przyniósł następujące wnioski:

#### **Trendy:**

- Fotonika scalona: kluczowa dla przetwarzania sygnałów w centrach danych.
- Telekomunikacja: rozwój światłowodów i mikrostrukturalnych włókien światłowodowych.
- Sensory: nowe aplikacje sensorów w fotonice scalonej.

- Fotowoltaika: innowacje w komórkach fotowoltaicznych.
- Przemysł zbrojeniowy: zastosowanie fotoniki w zminiaturyzowanych systemach nawigacyjnych, np. żyroskopach światłowodowych.

Ekspert bierze pod uwagę możliwość zmiany trajektorii rozwoju fotoniki ze względu na bieżące wydarzenia polityczne i militarne, co wskazuje na dynamiczne środowisko, w którym fotonika może znajdować nowe zastosowania i kierunki rozwoju.

#### **Zagrożenia i Problemy:**

- Kluczowym problemem jest przewidywalność i poziom finansowania. Pracownicy naukowcy często nie mają ściśle określonego celu związanego z wdrożeniem, co ogranicza potencjał komercjalizacji.
- Konieczne jest zintegrowanie różnych ośrodków badawczych i naukowców do pracy nad wspólnymi celami.
- Badania naukowe są kosztowne i często wymagają długotrwałego wsparcia finansowego, zanim przyniosą konkretne wyniki.

#### **Perspektywy czasowe i regionalne rozwoju trendów w fotonice:**

- **Krótkoterminowe:** Zastosowania fotoniki scalonej oraz sensorów w zakresie światła widzialnego i bliskiej podczerwieni z uwzględnieniem spektrum promieniowania, które mają już obecne i natychmiastowe aplikacje, szczególnie w ochronie zdrowia i czujnikach.
- **Średnioterminowe:** Rozwój i zastosowanie efektów kwantowych w obliczeniach i pomiarach, co może wskazywać na nadchodzącą ewolucję technologii w ciągu najbliższych kilku lat. w Europie technologie te są już rozwijane, z Belgią i Holandią na czele dzięki ich infrastrukturze badawczej.
- **Długoterminowe:** w dłuższej perspektywie czasowej, fotonika scalona, a przede wszystkim lasery półprzewodnikowe, mogą stawać się coraz bardziej integralną częścią innowacyjnych rozwiązań w różnych sektorach na skalę światową.
- **Europa Zachodnia:** Kraje takie jak Belgia i Holandia mają lepsze warunki finansowania i infrastrukturę, co przyspiesza rozwój i wdrożenie technologii.
- **Polska:** Brakuje wyraźnej polityki naukowej i przewidywalności finansowania. Jeżeli uda się to zapewnić, istnieje potencjał dla szybkiego wdrożenia konkretnych technologii.

#### **Potencjał CEZAMAT PW w rozwoju trendów:**

- CEZAMAT PW może przyczynić się do rozwoju tych trendów w Polsce, przede wszystkim w krótkiej i średniej perspektywie czasowej, dzięki dostępowi do specjalistycznych laboratoriów i współpracy z innymi ośrodkami badawczymi.
- Uwzględniając komentarze eksperta, CEZAMAT PW jest dobrze wyposażony i posiada kompetencje, by wspierać rozwój technologii fonicznych, co może przyspieszyć postęp w kraju i pomóc w nadrobieniu zaległości względem Europy Zachodniej.
- Młodzi specjaliści z CEZAMAT PW, ze swoją otwartością i kompetencjami, są istotnym składnikiem w przyspieszaniu rozwoju i adaptacji nowych technologii fonicznych w Polsce.

#### **Potencjał Komercjalizacyjny:**

- Czujniki Biomedyczne i Detekcja Gazów to obszary z wysokim potencjałem komercjalizacji, szczególnie w kontekście szybkiej diagnostyki biomedycznej i bezpieczeństwa publicznego.
- Optyka Dyfrakcyjna i Mikrooptyczna to obszar zainteresowania wielu grup naukowych i ma potencjał do szybkiego wdrożenia oraz konkurencyjnych cen.
- Wdrożenia technologii fotonicznych muszą oferować znaczącą wartość dodaną, taką jak szybkość diagnozy czy wiarygodność pomiarów, aby być konkurencyjnymi na rynku.

Obaj eksperci wskazują, że znaczenie fotoniki scalonej i kwantowej dla przyszłości telekomunikacji, przetwarzania sygnałów oraz sensorów ma istotne znaczenie. z obu wywiadów wybrzmiewają problemy z finansowaniem i infrastrukturą w Polsce jako głównych bariery rozwoju, przy czym drugi wywiad rozszerza tę kwestię o potrzebę długofalowego planowania i koordynacji między różnymi ośrodkami badawczymi. z kolei zdaniem pierwszego eksperta, ze względu na potencjał CEZAMAT PW może on pełnić rolę ośrodka skupiającego specjalistów, doświadczenia i infrastrukturę w celu realizacji projektów badawczych z zakresu fotoniki z uwagi na jej specyfikę.

## 6. PODSUMOWANIE I REKOMENDACJE

Niniejszy raport dotyczący trendów w fotonice ukazuje dynamiczny rozwój tej dziedziny, zwłaszcza w zakresie fotonicznych układów zintegrowanych, które odnotowują największy wzrost liczby publikacji i zainteresowania badawczego. z analizy danych wynika, że fotoniczne układy scalone są obecnie głównym obszarem postępu technologicznego, ze szczególnym uwzględnieniem platform materiałowych takich jak azotek krzemu, krzem na izolatorze oraz german. z kolei projekty związane z zintegrowanymi fotonicznymi czujnikami, chociaż miały swój szczyt popularności w 2015 roku, obserwują tendencję spadkową, co może sugerować przesunięcie priorytetów badawczych lub dojrzewanie technologii. Optyka dyfrakcyjna i mikrooptyczne elementy prezentują mniejszą skalę aktywności, jednak ich rola w specyficznych aplikacjach, takich jak systemy nawigacyjne i obserwacyjne dronów czy noktowizja, nadal podkreśla ich znaczenie w rozwoju nowoczesnych technologii.

Na skalę globalną, rozwój elementów mikrooptycznych jest uznawany za wiodący trend, z Polską pozycjonującą się w strefie innowacji, co sugeruje silne perspektywy dla upowszechnienia technologii fotonicznych w średnioterminowej perspektywie. Ogólnie, trend wzrostu liczby patentów i publikacji w różnych obszarach fotoniki wskazuje na dynamiczny rozwój tej dziedziny, z wysoką korelacją między trendami, co sugeruje współzależność innowacji.

Zagrożenia dla rozwoju fotoniki w Polsce obejmują brak infrastruktury produkcyjnej i wysokie koszty wytwarzania, co wymaga inwestycji w zasoby i infrastrukturę. CEZAMAT PW jest jednak wskazywany w perspektywie średnio- i długoterminowej jako potencjalne centrum napędzające rozwój fotoniki, inicjujące nowe projekty oraz wspierające innowacyjność gospodarki poprzez wdrożenia rozwiązań fotonicznych.

Wnioski z wywiadów z ekspertami, ukazują dynamiczny rozwój fotoniki kwantowej i fotonicznych układów scalonych. Eksperci zwracają uwagę na wzrost zainteresowania technologiami komunikacyjnymi i sensorowymi, podkreślając potrzebę rozwoju światłowodów i zintegrowanych źródeł światła na podłożu krzemowym.

Komercjalizacja rozwiązań fotonicznych, w szczególności w aplikacjach biomedycznych i detekcji gazów, ma duży potencjał dzięki rosnącemu zapotrzebowaniu na innowacyjne rozwiązania. Eksperci wskazują na konieczność strategicznego planowania i koordynacji działań badawczych, aby Polska mogła pełnić

ważną rolę w rozwoju fotoniki na skalę globalną. CEZAMAT PW, z odpowiednimi inwestycjami w kadry i infrastrukturę, może stać się kluczowym ośrodkiem wspierającym ten rozwój.

W oparciu o analizę trendów w fotonice, wyniki wywiadów z ekspertami oraz rozpoznane zagrożenia i potencjał komercjalizacyjny, poniżej przedstawiono zestaw rekomendacji działań dla CEZAMAT PW, aby skutecznie planować dalszą pracę i w pełni wykorzystać potencjał fotoniki:

- Priorytetyzacja projektów badawczych z uwzględnieniem ich potencjału komercjalizacyjnego oraz gotowości technologicznej.
- Inicjowanie i rozwijanie partnerstw z przedsiębiorstwami technologicznymi w celu współpracy nad projektami aplikacyjnymi, które mogą prowadzić do szybkiej komercjalizacji wyników badań.
- Inwestowanie w specjalistyczne laboratoria i sprzęt, zwłaszcza w zakresie nowych technologii fotoniki kwantowej i scalonej.
- Intensyfikacja działań na rzecz pozyskania, szkolenia i rozwoju talentów naukowych i inżynierskich specjalizujących się w fotonice, w tym organizacja warsztatów, kursów i programów doktoranckich.
- Ustalenie strategii zarządzania ryzykiem, w tym planów na wypadek przestojów infrastrukturalnych lub braków kadrowych.
- Wzmacnianie obecności CEZAMAT PW w środowisku biznesowym poprzez aktywne uczestnictwo w konferencjach oraz wykorzystanie mediów społecznościowych do promocji osiągnięć i kompetencji.
- Definiowanie jasnych ścieżek dla transferu technologii i komercjalizacji wyników badań wspierając działania na rzecz inkubacji i akceleracji start-upów technologicznych.

Dane transakcyjne z bazy Royalty Range dotyczące komercjalizacji technologii powiązanych z fotoniką w latach 2014-2023 r.

| Lp | Typ              | Branża                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Licencjodawca                   | Licencjobiorca | Opis przedmiotu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Data wejścia w życie umowy | Wyłączność | Ograniczenia dotyczące użytkowania, eksploatacji, reprodukcji, dalszego przekazywania i dalszego rozwoju                                                                                                                       | Zakres i czas trwania ochrony prawnej                                                                                             | Stawka licencyjna          | Podstawa | Inne płatności                                                                                                                                                                                       | Szczegóły dotyczące rekompensaty                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Patent                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Licencja, patent | Device, Node, Gateway, Software, Network, Wireless, Radio transmitter, Receiver, Signal, Remote access, Vending machine Pay-type telephone, Monitoring, Cotrol, Remote, Residential device, Utility meter, PSTN, Emergency message, Emergency notification, Vending machine, Pollution information | Sipco LLC, Ipco LLC dba IntusIQ | Telkonet, Inc. | Licencja na korzystanie z praw patentowych do wytwarzania, używania, sprzedaży, importu, eksportu i stosowania produktów związanych z systemem sieci komunikacyjnej o strukturze sieci autobusowej, kontrolerem miejsc z funkcjonalnością mapowania, bezprzewodowymi sieciami komunikacyjnymi umożliwiającymi zdalne monitorowanie urządzeń, systemem i metodą przysyłania wiadomości alarmowej do urządzenia mobilnego, umożliwiającym użytkownikowi mobilnemu powiadomienie zautomatyzowanego systemu monitorowania o sytuacji awaryjnej, systemem i metodą monitorowania | 30/11/2020                 | Nie        | Licencjobiorca nie ma prawa do sublicencjonowania; Licencjodawca ma prawo do przypisania lub przeniesienia licencji; Licencjobiorca nie ma prawa do przypisania ani przeniesienia licencji bez uprzedniej zgody licencjodawcy. | Licencja obejmuje 72 patenty amerykańskie, 2 wnioski o patenty amerykańskie w trakcie procedury oraz 5 międzynarodowych patentów. | 3,50 %<br>3,75 %<br>4,00 % | Sprzedaż | Licencjobiorca ma uiścić licencjodawcy początkową opłatę w wysokości 40 000 USD; Licencjobiorca ma uiścić licencjodawcy końcową opłatę w wysokości 50 000 USD nie później niż 31 stycznia 2025 roku. | Licencjobiorca ma uiścić licencjodawcy tantiemy w wysokości 3,5% ceny sprzedaży licencjonowanych produktów sprzedanych w kwartałach kończących się 30 września 2020, 31 grudnia 2020, 31 marca 2021, 30 czerwca 2021, 30 września 2021 i 31 grudnia 2021; Licencjobiorca ma uiścić licencjodawcy tantiemy równe większej kwocie, tj. minimalna płatność w wysokości 35 000 USD za kwartał lub 3,75% ceny sprzedaży wszystkich takich produktów sprzedanych w każdym kwartale kończącym się 31 marca 2022, 30 czerwca 2022, 30 września 2022 i 31 grudnia 2022, 31 marca 2023 | US5714931,<br>US5926531,<br>US6028522,<br>US6218953,<br>US6233327,<br>US6430268,<br>US6437692,<br>US6618578,<br>US6628764,<br>US6747557,<br>US6836737,<br>US6891838,<br>US6914533,<br>US6914893,<br>US7053767,<br>US7079810,<br>US7103511,<br>US7137550,<br>US7263073,<br>US7295128,<br>US7397907,<br>US7424527,<br>US7468661,<br>US7480501,<br>US7650425,<br>US7697492,<br>US7739378,<br>US7756086,<br>US7978059,<br>US8013732,<br>US8031650,<br>US8064412,<br>US8171136,<br>US8193930,<br>US8212667,<br>US8223010,<br>US8335304,<br>US8379564,<br>US8410931, |

|   |                               |                                                                                                                                                             |                    |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                           |     |                                                                                                                                              |                                         |        |                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |            |
|---|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|   |                               |                                                                                                                                                             |                    |                      | i sterowania urządzeniami domowymi, metodą przesyłania informacji o zanieczyszczeniu przez zintegrowaną sieć bezprzewodową, metodą kontrolowania komunikacji między komputerem głównym a urządzeniami komunikacyjnymi, systemem monitorowania parkowania pojazdów, nadajnikiem do obsługi automatów do transakcji finansowych, nadajnikiem do korzystania z telefonów na monety, systemami do żądania obsługi automatu. |                           |     |                                                                                                                                              |                                         |        |                | i 30 czerwca 2023, oraz większej kwocie, tj. minimalna płatność w wysokości 40 000 USD za kwartał lub 4% ceny sprzedaży wszystkich takich produktów sprzedanych w każdym kwartale kończącym się 30 września 2023, 31 grudnia 2023, 31 marca 2024, 30 czerwca 2024, 30 września 2024 i 31 grudnia 2024. | US8446884, US8489063, US8666357, US8754780, US8908842, US8924587, US8924588, US8930571, US8942666, US8964708, US9111240, US9129497, US9282029, US9430936, US9439126, US9521533, US9571582, US9515691, US9691263, US9615226, US9860820, US8346892, US10149129, US10356687, US16205375, US16432176, CA2434642C, EP2993591, KR100807815, JP4555345, HK121979, US6044, US6249516, US7054271, US7089125, US800314, US8233471, US8625496, US8787246, US8982856 |            |
| 2 | Licencja, patent, technologia | Research, Science, Genetic, Chemistry, Biochemical reaction, Chemical substance, Biosensor, "Improved Fluorescent Resonance Energy Transfer Based Biosensor | Quara Devices Inc. | Pebble Labs USA Inc. | Licencja na prawa patentowe i technologiczne do produkcji, użytkowania i stosowania ulepszonych biosensorów rezonansu energetycznego fluorescencji w celach badawczych.                                                                                                                                                                                                                                                 | 26/03/2019, nie określono | Tak | Żadna ze stron nie ma prawa do przypisania żadnych praw ani obowiązków wynikających z umowy bez wcześniejszej pisemnej zgody drugiej strony. | Licencja obejmuje 1 patent amerykański. | 1,50 % | sprzedaż netto | Licencjobiorca ma uiścić licencjodawcy opłatę w wysokości 500 000 USD.                                                                                                                                                                                                                                 | Licencjobiorca ma uiścić licencjodawcy opłatę z tytułu tantiem w wysokości 1,5% od sprzedaży netto.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | US62730424 |

|   |                                                                                             |                                                                                                                                                                                        |                                 |                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |            |                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                 |        |                 |                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                              |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                                                                             | Proteins and Their Methods of Use Thereof"                                                                                                                                             |                                 |                                          | kluczowych, dydaktycznych lub innych celach niekomercyjnych.                                                                                                                                                                                                                                      |            |                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                 |        |                 |                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                              |
| 3 | Licencja, patent                                                                            | Defense, Detection, Protection, Security, Metal detection system, Concealed contraband and weapons detection system, Sensor, Scanning unit, Electromagnet, Circuit board, Power supply | Controlled Capture Systems, LLC | Defense Technologies International Corp. | Licencja na patenty licencjodawcy umożliwiająca produkcję, zlecenie produkcji, użytkowanie, sprzedaż i wynajem produktów związanych z bezpieczeństwem obronnym, wykrywaniem i ochroną.                                                                                                            | 19/10/2016 | Tak                                                                                                                                                                                                                | Licencjobiorca nie ma prawa do przypisania licencji.                                                                          | Licencja obejmuje 1 patent amerykański; Licencjobiorca ma ponieść koszty związane z aplikacją patentową oraz ponosić koszty złożenia, prowadzenia i utrzymania odpowiedników zagranicznych aplikacji w odniesieniu do takich oczekujących aplikacji patentowych | 5,00 % | Sprzedaż brutto | Licencjobiorca ma uiścić licencjodawcy opłatę licencyjną w wysokości 25 000 USD.              | Licencjobiorca ma uiścić licencjodawcy dwuletnią opłatę licencyjną równą 5% od sprzedaży brutto licencjonowanych produktów, lub minimalne opłaty licencyjne w wysokości 25 000 USD, zależnie od tego, która kwota jest większa. | US7408461                                                                    |
| 4 | Licencja, Technologia, Know-how, Tajemnica handlowa, Prawa autorskie, Patent, Znak towarowy | Laser, Cutting, Equipment, High power, Turbo piercing, Cold cutting                                                                                                                    | Fonon Technologies, Inc.        | Laser Photonics Corporation              | Licencja na prawa technologiczne, know-how, tajemnicę handlową, prawa autorskie oraz patentowe do opracowania, wykorzystania, produkcji i sprzedaży wysokomocnego sprzętu do cięcia laserowego metodą turbo-piercing, noszącego znak towarowy; Umowa zostaje zawarta między powiązаныmi stronami. | 18/10/2023 | Tak; Strony nie mają prawa do przeniesienia, przypisania i delegowania tej umowy bez uprzedniej zgody drugiej strony; Licencjobiorca ma prawa do sublicencjonowania; Licencjodawca ma prawo do sublicencjonowania. | Licencjodawca ponosić będzie koszty przygotowania, prowadzenia i utrzymania aplikacji patentowych oraz utrzymania patentów.   |                                                                                                                                                                                                                                                                 | 6,50 % | Sprzedaż brutto | Licencjobiorca ma uiścić licencjodawcy opłatę licencyjną w wysokości 350 000 dolarów gotówką. | Licencjobiorca ma uiścić licencjodawcy tantiemy w wysokości 6,5% od sprzedaży brutto; Licencjobiorca ma wyemitować na rzecz licencjodawcy 1 000 000 ograniczonych udziałów swojego akcjonariatu zwykłego.                       |                                                                              |
| 5 | Licencja, Know-how, Patent, Tajemnica handlowa, Inne niematerialne                          | Testing, Laboratory instrument, Environmental science, Animal specimen, Environmental                                                                                                  | Defiant Technologies Inc.       | Global Innovative Platforms Inc.         | Licencja na prawa patentowe, know-how, prawa technologiczne oraz informacje techniczne i tajemnice                                                                                                                                                                                                | 18/08/2023 | Tak; Licencja jest wyłączna (podlegająca pewnym wyjątkom i warunkom) w odniesieniu do praw patentowych                                                                                                             | Licencja jest nieprzenoszalna i nie podlega sublicencjonowaniu; Licencjobiorca nie może przenieść ani w inny sposób przenieść | Licencja obejmuje 13 patentów amerykańskich.                                                                                                                                                                                                                    | 3,00 % | Sprzedaż netto  | Licencjobiorca ma uiścić licencjodawcy minimalną opłatę licencyjną w wysokości 50             | Licencjobiorca ma uiścić licencjodawcy kwartalne tantiemy w wysokości 3% od sprzedaży                                                                                                                                           | US8635901, US6820469, US6820469, US6823720, US5858457, US7168298, US7273517, |

|   |                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                    |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                           |            |                                                           |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |        |                |                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | aktywa produkcyjne, Technologia | indicator, Biology, Chemical detector, Chemical sensor, Laboratory analysis, Animal ecology, Gas chromatograph, VOC detection, Chromatography, Gas chromatography, Chemical sensing, Microfabricated resonator, Gas separation column, Biological sample, Laboratory, Analysis |                    |                                      | handlowe umożliwiające produkcję, oferowanie sprzedaży, sprzedaż i import produktów do testowania na zwierzętach oraz wszystkich zastosowań komercyjnych związanych z rynkiem zwierząt na całym świecie.                                                                  |            | i materiałów oraz nie wyłączna w odniesieniu do know-how. | żadnych ze swoich praw wynikających z umowy, czy to dobrowolnie, czy przymusowo, na mocy prawa lub w inny sposób, bez uprzedniej pisemnej zgody licencjodawcy. |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |        |                | 000 USD w terminie 30 dni od daty wejścia w życie umowy.                                                                     | netto wszystkich licencjonowanych produktów.                                                                                                                                       | US7118712, US7685864, US7799280, US7799280, US8298488, US6171378                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 6 | Licencja, patent                | Capacitive touch sensor, Touch sensor, Sensor, Touch, Fine line, Copper, Metal, Plastic film, Plastic, Electronic printed circuit, Electronic, Circuit, Copper-based touch sensor film, Touch sensor film                                                                      | CIT Technology Ltd | Uni-Pixel Displays, Inc.             | Licencja na patenty licencjodawcy umożliwiające produkcję lub zlecenie produkcji, użytkowanie, oferowanie sprzedaży, sprzedaż i import pojemnościowych czujników dotykowych składających się z cienkich linii miedzianych wydrukowanych na elastycznej folii plastikowej. | 16/04/2015 |                                                           | Licencjobiorca nie ma prawa do sublicencjonowania ani przeniesienia licencji; Obie strony nie mają prawa do przypisania licencji.                              | Licencja obejmuje 1 patent chiński oraz 3 wnioski patentowe, 2 patenty japońskie oraz 2 wnioski patentowe, 1 patent koreański oraz 3 wnioski patentowe, 2 patenty amerykańskie oraz 4 wnioski patentowe, 4 wnioski patentowe europejskie, 3 wnioski patentowe brytyjskie oraz 2 wnioski patentowe filipińskie. | 1,67 % | Sprzedaż netto | Licensee shall pay to licensor a non-refundable prepayment of annual minimum royalty of \$4,666,667 upon the effective date. | Licencjobiorca ma uiścić licencjodawcy tantiemy w wysokości 1,67% od sprzedaży netto licencjonowanych produktów lub 1 650 000 dolarów, zależnie od tego, która kwota jest większa. | CN1898413; EP1689909; JP2007520369; KR20060129247; US20050153078A1; US20130040154; GB2489042; GB2489974; CN103502890; EP2686735; JP2014512568; KR1020140018271; PH12013501945; US20140004320; GB2499663; CN103503586; EP2698045; JP2014522546; KR1020140024878; PH12013501972; US20140000945; CN104246613; EP2820479; KR1020140139484; US20150056552; US14631254 |
| 7 | Licencja, know-how              | Integrated circuit, Wafer,                                                                                                                                                                                                                                                     | NXP B.V.           | Advanced Semiconductor Manufacturing | Licencja na prawa do know-how do produkcji                                                                                                                                                                                                                                | 01/01/2016 |                                                           |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1,00 % | Sprzedaż netto |                                                                                                                              | Licencjobiorca ma uiścić licencjodawcy                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

|   |                                                       |                                                                                                                                                       |                                             |                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |     |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                         |                              |                |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                   |
|---|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                                       | Semiconductor, Electronic, Part                                                                                                                       |                                             | Corporation Limited                                     | i sprzedaży krzemianów, układów scalonych i powiązanych produktów; Umowa zostaje zawarta między powiązanymi stronami.                                                                                                                                                                                                                                                                         |            |     |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                         |                              |                |                                                                                                                                                                                                                                   | tantiemy w wysokości 3% od ceny netto sprzedaży każdego licencjonowanego produktu; Tantiemy będą płatne półroczne                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                   |
| 8 | Licencja, Technologi, Know-how, Znak towarowy, Patent | Glucose, Device, Measuring, Biological marker, Cancer, Allergy, Immunology, Hormone, Bodily fluid, Saliva, Blood, Meter, Strip, Biosensor, Diagnostic | Life Science Biosensor Diagnostics Pty Ltd. | Glucose Biosensor Systems (Greater China) Holdings Inc. | Licencja na prawa patentowe, technologiczne i know-how do promowania, marketingu, importu, oferowania, sprzedaży i dostarczania produktów związanych z technologią biosensorową stosowaną do pomiaru ilości lub stężenia glukozy, istnienia biomarkerów raka oraz alergii/immunologii i hormonów, każdej w płynie ustrojowym (np. ślinie, krwi), noszących znak towarowy "Glucose Biosensor". | 03/07/2019 | Tak | Licencjobiorca nie może przenieść, delegować, ani przekazywać, ani udzielać sublicencji lub prawa do sublicencji bez uprzedniej zgody licencjodawcy          | Licencja obejmuje 5 wniosków patentowych                                                                                                                                                                                                | 13,00 %<br>3,00 %<br>13,00 % | Sprzedaż netto | Licencjobiorca ma uiścić licencjodawcy opłaty licencyjne w wysokości 12 000 000 dolarów za pierwszy rok tantiem, a dla każdego kolejnego roku tantiem większą kwotę spośród 12 000 000 dolarów i rocznych tantiemów projektowych. | Licencjobiorca ma uiścić licencjodawcy tantiemy w wysokości 13% od sprzedaży netto jednostek komercyjnych przed najnowszą datą wygaśnięcia patentów objętych licencją, a 3% od sprzedaży netto jednostek komercyjnych po tej dacie; Licencjobiorca ma również uiścić licencjodawcy tantiemy w wysokości 13% od sprzedaży netto opcjonalnego dedykowanego urządzenia do odczytu. | PCT/AU2013000207, PCT/AU2012900885, PCT/AU2013000207, CN2013800228882, US14382927 |
| 9 | Licencja, Patent                                      | Power, Monitoring, Non-intrusive, Non-contact, Sensing, Load, Industrial, Equipment, Factory                                                          | Massachusetts Institute of Technology       | IIOT-OXYS, Inc.                                         | Licencja na prawa patentowe do opracowywania, produkcji, użytkowania, sprzedaży, wynajmu i importu produktów w dziedzinie monitorowania mocy i obciążenia sprzętu przemysłowego w fabrykach; Jedną ze stron umowy jest podmiot non-profit.                                                                                                                                                    | 01/02/2018 | Nie | Licencjobiorca nie ma prawa do sublicencjonowania; Licencjobiorca nie ma prawa do przypisania ani przeniesienia licencji bez uprzedniej zgody licencjodawcy. | Licencja obejmuje 3 patenty; Licencjodawca podejmuje decyzję samodzielnie, czy złożyć, starać się o wydanie, utrzymać lub zaniechać praw patentowych objętych licencją; Licencjobiorca ponosi wszystkie związane z tym opłaty i koszty, | 2,00 %<br>4,00 %             | Sprzedaż netto | Licencjobiorca ma uiścić licencjodawcy opłatę za wydanie licencji w wysokości 10 000 USD; Licencjobiorca ma uiścić licencjodawcy opłatę za utrzymanie licencji w następujących wysokościach:                                      | Licencjobiorca ma uiścić licencjodawcy tantiemy w wysokości 2% od sprzedaży netto dokonanej w latach kalendarzowych 2018, 2019 i 2020; Licencjobiorca ma uiścić licencjodawcy tantiemy                                                                                                                                                                                          | US8344724; US8907664; US14263407; PCT1US2016057165                                |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                                                                                              |  |  |                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  | <p>w tym opłaty za<br/>prawników,<br/>związane<br/>z złożeniem,<br/>prowadzeniem<br/>i utrzymaniem<br/>praw patentowych.</p> |  |  | <p>20 000 USD za<br/>2019 rok, 40<br/>000 USD za<br/>2020 rok oraz<br/>60 000 USD za<br/>każdy kolejny<br/>rok.</p> | <p>w wysokości 4%<br/>od sprzedaży<br/>netto dokonanej<br/>w roku<br/>kalendarzowym<br/>2021 i każdym<br/>kolejnym roku<br/>kalendarzowym<br/>w trakcie trwania<br/>umowy.</p> |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|