

**PROGRAM WIELOLETNI**  
**„Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”**  
**V etap, okres realizacji: lata 2020-2022**

**Część B: Program realizacji projektów w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych**

## Sprawozdanie etapowe

Symbol projektu III.PB.20

Tytuł projektu: *Opracowanie systemu do monitorowania wybranych parametrów fizjologicznych oraz wykrywania obecności pracowników w strefach zagrożenia czynnikami szkodliwymi i niebezpiecznymi.*

Termin rozpoczęcia 01.01.2020r.

Termin zakończenia 31.12.2022r.

Numer etapu 1

Nazwa etapu: *Opracowanie modelu systemu identyfikacji i monitorowania obecności pracowników w strefie zagrożenia współpracującego z sensorami do monitorowania wybranych parametrów fizjologicznych pracowników.*

Termin rozpoczęcia 01.01.2020r.

Termin zakończenia 31.03.2021r.

**WYKONAWCA /nazwa jednostki/: Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki**

	Imię i nazwisko	Podpis
Kierownik projektu :	Piotr Guzdek	
Wykonawcy:	Piotr Maćków	
	Artur Polak	
	Tomasz Maj	
	Piotr Zachariasz	
	Mariusz Taborski	
	Mirosław Kuński	
	Ryszard Knapik	

## **Spis treści**

Harmonogram realizacji projektu	str. 3
Streszczenie	str. 4
Dotychczasowy stan wiedzy w problematyce realizowanego projektu oraz uzasadnienie naukowe i użyteczne podjęcia projektu	str. 6
Cele projektu i sprawozdawanego etapu (ogólny i szczegółowe)	str. 8
Opis wykonanych prac	str. 8
Wnioski	str. 17

## Harmonogram realizacji projektu

TEMAT ETAPU	PODMIOT REALIZUJĄCY	DATA ROZPOCZĘCIA ETAPU	DATA ZAKOŃCZENIA ETAPU
Opracowanie modelu systemu identyfikacji i monitorowania obecności pracowników w strefie zagrożenia współpracującego z sensorami do monitorowania wybranych parametrów fizjologicznych pracowników	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki	01.01.2020	31.03.2021
Opracowanie oprogramowania do systemu monitorowania wybranych parametrów fizjologicznych pracowników oraz rejestracji ich obecności w strefach zagrożenia czynnikami szkodliwymi i niebezpiecznymi. Opracowana publikacja.		01.01.2021	31.12.2021
Badania laboratoryjne opracowanego systemu oraz jego weryfikacja w warunkach rzeczywistych. Opracowana publikacja		01.01.2022	31.12.2022

## Streszczenie

W ramach zrealizowanych prac badawczych, zaprojektowano i wykonano modele układów elektronicznych, które monitorują położenie zarówno pracowników jak i urządzeń niebezpiecznych dla ich zdrowia. Wykonane modele komunikują się ze sobą zgodnie z koncepcją Internetu rzeczy (IoT) za pomocą miniaturowych modułów komunikacyjnych firmy Taiyo Yuden. Do budowy modeli wykorzystano również projekty własnych układów monitorujących ruch pracowników:

- inercyjne układy pomiarowe zawierające akcelerometr, żyroskop i magnetometr działające w trzech wymiarach, wyposażone w układ określający pozycję układu pomiarowego,
- czujniki aktywności oparte na sensorach z folii piezoelektrycznej PVDF,
- układy nadzorujące tętno i rytm oddechu.

Przeprowadzono analizę i dokonano wyboru bezkontaktowych czujników temperatury (w tym także czujników pokazujących rozkład temperatur na większych powierzchniach) oraz sensorów gazów szkodliwych dla zdrowia, które posłużą do nadzorowania miejsc niebezpiecznych.

Wykonane modele układów przystosowane są do zasilania z miniaturowych akumulatorów litowych lub harwesterów przetwarzających energię rozproszoną (światłą, ciepłą, fal elektromagnetycznych) w energię elektryczną oraz zawierają układy o niskich potrzebach energetycznych (układy ultra low energy) dzięki czemu zapewniono odpowiednio długi czas ich pracy. Opcjonalnie, do bezprzewodowego ładowania opracowanych urządzeń, opracowano ładowarkę wykorzystującą sprzężenie indukcyjne, które podnosi w znaczący sposób komfort oraz bezpieczeństwo użytkowania urządzeń, gdyż nie ma sprzężenia galwanicznego między układem ładującym a urządzeniem ładowanym.

Do obsługi sieci czujników współpracujących w ramach IoT zastosowano rozwiązanie pracujące w standardzie stworzonym przez Open Connectivity Foundation. Nawiązano w tym zakresie współpracę z firmą Comarch, co pozwoliło dostosować opracowane modele do szczegółowych wymagań potencjalnych końcowych użytkowników.

W ramach badań sprawdzono nieprzerwany czas pracy systemów przy zastosowaniu standardowych źródeł zasilania. Otrzymane wyniki dowodzą, że moduł czujnikowy wysyłający pomiary z częstotliwością 1Hz, wyposażony w źródło (bateria lub akumulator) o pojemności 200mAh może poprawnie działać przez około 4000 godzin. Moduły, które nie wykonują żadnych pomiarów, natomiast mają za zadanie ostrzeganie pracownika o wejściu do strefy niebezpiecznej (beacon-y) mogą działać na baterii o tej samej pojemności kilkukrotnie dłużej.

Zbadano również maksymalną pojemność systemu zawierającego czujniki, ze względu na dość dużą teoretyczną ilość elementów w jednej sieci typu MESH (do 32767) nie ma możliwości sprawdzenia tego w praktyce. Jest to natomiast ilość która znacznie przekracza potrzeby opracowywanego systemu.

Potwierdzono eksperymentalnie zasięg modułów w standardzie Bluetooth 4.2. W przypadku widoczności urządzeń wewnątrz budynku uzyskano zasięg 50m. Na otwartej przestrzeni uzyskano połączenie urządzeń oddalonych od siebie o deklarowane w specyfikacji 100m.

## **Dotychczasowy stan wiedzy w problematyce realizowanego projektu oraz uzasadnienie naukowe i uytitarne podjcia projektu**

Ze wzgldu na zagrozenia zwiazane z wykonywaniem czynności zawodowych istnieje potrzeba ciaglego monitorowania warunków środowiska pracy, jak również stanu zdrowia pracowników. Z tego powodu rozwiązania systemowe oraz środki ochrony indywidualnej przeznaczone do uytku w niebezpiecznych warunkach pracy wyposaą się w elementy sensoryczne lub układy elektroniczne umożliwiające monitorowanie warunków pracy oraz sygnalizację zmiany intensywności zagrożeń i wzrost ryzyka. Obecnie, rozwiązania z zakresu ciaglego monitorowania różnorodnych parametrów (parametry procesów przemysłowych, jakości środowiska, funkcji życiowych) są szeroko opracowywane i badane ze wzgldu na szybki rozwój technologii Internetu Rzeczy (IoT). Technologia ta umożliwia tworzenia inteligentnych sieci sensorowych, w ramach której urządzenia komunikują się między sobą i łączą się ze światem fizycznym, dzięki czemu dostarczają informacji i usług uytownikom [1]. Technologia IoT została pomyślnie wdrożona w systemie opieki zdrowotnej [2], transporcie i logistyce, monitorowaniu środowiska, inteligentnych budynkach, kontroli i zarządzaniu procesami przemysłowymi (Industry 4.0) [3]. Istnieje też druga strona medalu. Pozyskiwane dane są często danymi wrażliwymi, które nie mogą wydostawać się poza sieć. Jednak według raportu firmy Hewlett Packard ponad 70% urządzeń w IoT jest niezabezpieczonych [4]. A więc środowisko IoT narażone jest na ataki w celu przechwycenia danych. Ze wzgldu na powyższe problemy sieci zbudowane w oparciu o IoT muszą zostać wyposażone w techniki kryptograficzne zapewniające cyberbezpieczeństwo systemu [5].

W ostatnich latach obserwuje się ogromny postępowanie w dziedzinie miniaturyzacji czujników, prędkości przetwarzania i przesyłu danych, autonomicznych źródeł zasilania oraz właściwości fizycznych materiałów, przędz, włókien, w tym przędz elektroprzewodzących [6-15]. Powyższe technologie mają zastosowanie w konstrukcji inteligentnych środków ochrony indywidualnej, m.in. odzieży ochronnej umożliwiającej monitorowanie parametrów fizycznych mikroklimatu pod odzieżą oraz parametrów fizjologicznych uytownika (np. temperaturę skóry, częstość skurczów serca). Odzież zintegrowana z czujnikami i elektroniką wpisuje się obecnie w jeden z głównych trendów rozwoju wyrobów odzieżowych, w tym środków ochrony indywidualnej. Czujniki stosowane w odzieży najczęściej są wyrobami dostępnymi na rynku, które są inkorporowane do odzieży lub otoczenia pracownika. Do łączenia elementów elektronicznych stosuje się najczęściej przędzę elektroprzewodzącą (klasyczną stalową, z dodatkiem lub całkowicie wykonaną z metali szlachetnych, tj. srebra, miedzi). Ponadto stosuje się kleje elektroprzewodzące lub druk elektroprzewodzący (ang. inkjet printing).

Potrzeba stosowania środków ochrony indywidualnej z wbudowanymi układami elektronicznymi w postaci czujników, sygnalizatorów czy układów alarmujących o przekroczeniu poziomów bezpieczeństwa dotyczy zarówno służb ratowniczych, tj. ratownictwa chemicznego, górniczego oraz straży pożarnej, jak również innych profesji wymagających ciaglego monitorowania warunków środowiska pracy i kondycji pracowników. Pomimo podejmowanych projektów tylko nieliczne, bardzo proste i mające zastosowanie w ograniczonym zakresie konstrukcje odzieży, czy obuwia wyposażonego w elementy elektroniczne są dostępne na rynku. Niezależnie od rodzaju zastosowanego układu elektronicznego niezbędne jest zapewnienie wydajnego źródła zasilania o niewielkich wymiarach, umożliwiającego poprawne funkcjonowanie dodatkowych, przenośnych urządzeń elektronicznych wbudowywanych w środki ochrony indywidualnej.

Jednym z najważniejszych wyzwań, przed jakim obecnie stoją producenci elektronicznego sprzętu mobilnego jest opracowanie rozwiązań znacznie wydłużających pracę urządzeń przenośnych, a także umożliwienie doładowania baterii w miejscach pozbawionych dostępu

do sieci energetycznej. Na rynku oferowane są mobilne, awaryjne systemy zasilania zawierające akumulator (np. Li-Ion, Li-Cd) umożliwiające doładowanie baterii urządzeń przenośnych (np. Choiix Power Fort 5.5 Whrs), lub ogniwo paliwowe (np. ogniwo DMFC), w którym wykorzystuje się nierównowagę chemiczną tlenu i wodoru do wytwarzania energii elektrycznej. Innym ciekawym rozwiązaniem zasilania urządzeń mobilnych może być zastosowanie superkondensatora, który jest odmianą kondensatora elektrolitycznego o bardzo dużej pojemności elektrycznej. W niektórych urządzeniach mobilnych już są one montowane wprost na płytkach drukowanych i służą do podtrzymywania napięcia podczas awarii bądź przerw zasilania. Jednak rozwiązania te nie są pozbawione wad. Wszystkie przedstawione rozwiązania są magazynem określonej ilości energii elektrycznej, która może również ulec wyczerpaniu. Poza tym sprawność tych źródeł energii w dużym stopniu zależy od warunków pracy (temperatura, wilgotność), które mogą wpłynąć na zmniejszenie ilości zmagazynowanej energii. Ponadto urządzenia te ze względu na swoje gabaryty ograniczają możliwości ich zastosowania, bądź zmniejszają komfort użytkowników: pracowników w strefie niebezpiecznej, ratowników, służb mundurowych.

Alternatywą dla powyższych rozwiązań może być ładowanie baterii zasilających urządzenia przenośne energią ludzkich mięśni [16-26] lub energią rozproszoną: światło, energia cieplna, drgania, fale elektromagnetyczne. Szacuje się, że podczas biegu nasze stopy wytwarzają kilkadziesiąt watów energii w postaci ciepła [15-17]. Istnieje wiele obiecujących konstrukcji plecaków, wkładek do butów czy specjalnych gadżetów napędzanych siłą ludzkich mięśni, które próbuje się wykorzystać do zasilania telefonów satelitarnych i odbiorników GPS dzwiganych po bezdrożach [17-21]. Najczęściej zawierają one różnego rodzaju konstrukcje generatorów, wykorzystujących zjawisko indukcji elektromagnetycznej do generowania siły elektromotorycznej. Zaawansowane są też prace nad materiałami piezoelektrycznymi, które produkują energię elektryczną w wyniku ich rozciągania lub ściskania [22-25]. Prowadzone są również badania, w których przekąźnikiem energii mechanicznej są mikrokropelki naładowanej cieczy przepływające specjalnymi kanalikami pod stopą piechura [26].

Ograniczenie wypadków przy pracy jak i sytuacji potencjalnie niebezpiecznych jest bardzo istotne z punktu widzenia pracodawcy i państwa. Pracodawca mając narzędzie do monitorowania obecności pracowników w wybranych strefach może identyfikować potencjalne sytuacje niebezpieczne lub nieodpowiedzialne zachowania pracowników oraz szybko podejmować odpowiednie przeciwdziałania. Z punktu widzenia państwa, ograniczenie sytuacji niebezpiecznych i wypadków przy pracy poprawi bezpieczeństwo pracowników i zmniejszy koszty ewentualnego leczenia i rehabilitacji a także zmniejszy ilość ewentualnych rencistów z tytułu wypadku przy pracy.

W 2017 r. liczba poszkodowanych w wypadkach przy pracy według danych GUS wyniosła ogółem 88330 osób i była o 0,5% większa niż w 2016 roku. Spośród 88330 poszkodowanych ogółem, 87400 osób uległo wypadkom przy pracy ze skutkiem lekkim (o 0,2 % więcej niż w 2016 r.), 661 osób – wypadkom z ciężkimi obrażeniami ciała (analogicznie o 42,5 % więcej), wypadkom śmiertelnym – 269 osób (tj. o 12,6 % więcej niż ub. roku). W podziale terytorialnym kraju, najwyższe wskaźniki wypadkowości odnotowano w województwach: dolnośląskim (8,98), warmińsko-mazurskim (8,44) i wielkopolskim (8,15), najniższe w województwie mazowieckim (4,76) i małopolskim (5,16).

Rozwój technologii, zwłaszcza technik informatycznych i optoelektronicznych, umożliwia konstruowanie bardziej skutecznych systemów detekcji sytuacji niebezpiecznych na stanowiskach pracy co prowadzi do ograniczenia wypadków przy pracy. Badania koncentrować się będą na wykorzystaniu nowoczesnych sensorów i układów elektronicznych umożliwiających lokalizowanie pracownika oraz monitorowanie warunków pracy oraz w razie potrzeby sygnalizację zmiany intensywności zagrożeń i wzrostu ryzyka.

Opracowanie proponowanego systemu identyfikacji i monitorowania obecności oraz wybranych parametrów fizjologicznych pracowników w strefie zagrożenia wypadkiem wpisuje się w realizację „trwałego wzrost gospodarczego opartego coraz silniej o wiedzę, dane i doskonałość organizacyjną” w obszarze „Rozwoju innowacyjnych firm”, które to cele są zawarte w „Strategii na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020”.

Ponadto, projekt wpisuje się w cele Strategii Rozwoju Kraju 2020 w obszarze strategicznym II „KONKURENCYJNA GOSPODARKA” w zakresie”

- Cel II.2. Wzrost wydajności gospodarki; II.2.2. Wzrost udziału przemysłów i usług średnio i wysoko zaawansowanych technologicznie,
- Cel II.3. Zwiększenie innowacyjności gospodarki; II.3.4. Zwiększenie wykorzystania rozwiązań innowacyjnych,
- Cel II.5. Zwiększenie wykorzystania technologii cyfrowych; II.5.2. Upowszechnienie wykorzystania technologii cyfrowych.

Coraz większa liczba sieci czujników i urządzeń ostrzegawczych oraz ogromne ilości przesyłanych danych pociągają za sobą również zmiany w regulacjach prawnych w zakresie Cyberbezpieczeństwa. Aktualny stan legislacji krajowej:

1. Uchwała nr 125 Rady Ministrów z dnia 22 października 2019 r. w sprawie Strategii Cyberbezpieczeństwa Rzeczypospolitej Polskiej na lata 2019–2024  
<http://monitorpolski.gov.pl/mp/2019/1037/1>.
2. Uchwała nr 97 Rady Ministrów z dnia 11 września 2019 r. w sprawie Inicjatywy Wspólna Infrastruktura Informatyczna Państwa -  
<http://monitorpolski.gov.pl/mp/2019/862/1>.

Są to dokumenty bazowe, uzupełniane przez materiały techniczne opisujące procedury i wymagania dotyczące realizacji konkretnych zadań i urządzeń.

Znane ograniczenia dotyczą relatywnie niewielkich grup urządzeń. Dzięki temu można korzystać z oprogramowania przygotowanego przez wiele wiodących firm lub organizacji rządowych. W naszym kraju takie środowisko przygotował między innymi Comarch. Potencjał tej firmy pozwolił na szybki rozwój tego obszaru. Do dyspozycji są także sieci międzynarodowe – w większości przypadków nie wymagające ponoszenia opłat, gdyż są dotowane przez budżety krajowe lub unijne.

Istotnym wymogiem jest konieczność zachowania interoperacyjności z innymi podobnymi systemami pracującymi w obrębie UE. . W związku z tym, konieczne jest przeprowadzenie takiego rozeznania dotyczącego podobnych obszarów w krajach unijnych. Przepisy prawne nie dopuszczają możliwości powstawania „silosów” – czyli rozwiązań pracujących według własnych zasad niezgodnych z normami międzynarodowymi. Takie rozwiązania są wygodne z punktu widzenia firm krajowych, gdyż zapewniają im monopol na danym obszarze.

Inne zagadnienie związane jest z możliwością wykorzystania dronów do nadzoru obszarów istotnych z punktu widzenia bezpieczeństwa pracy. Oznacza to także konieczność uwzględnienia regulacji prawnych związanych z tymi urządzeniami. Są one niekiedy bardzo szczegółowe i wymagają od osób z nimi pracujących ukończenia specjalistycznych szkoleń. Klasycznym przykładem jest wykorzystanie dronów latających, ściśle limitowane w obszarach graniczących z lotniskami.

Podobne rozeznanie może być konieczne w przypadku wprowadzenia czujników nadzorujących stan zdrowia pracowników. Taki system powinien być zgodny z wymogami ustawy o ochronie danych osobowych (RODO).

Jedną z popularniejszych platform monitorowania pracowników w miejscach niebezpiecznych jest „Maximo”, opracowana i utrzymywana przez firmę IBM [22, 23]. Jest to system korzystający z aplikacji umieszczonej w Internecie oraz urządzeniu przenośnym (smartfon, smartwatch). Rozwiązanie to może być rozszerzane o urządzenia wyprodukowane przez inne firmy, które po odpowiedniej konfiguracji mogą współpracować z

systemem. Doświadczenie Instytutu Mikroelektroniki i Fotoniki w zakresie projektowania i wytwarzania sensorów oraz budowy systemów pomiarowych pozwoli nam na stworzenie kompleksowego rozwiązania dostosowanego do krajowego rynku. Nowością jest możliwość stopniowania zagrożenia w danej strefie w zależności od aktualnie panujących tam warunków środowiskowych (np. automatyczne i bieżące dostosowanie dopuszczalnej odległości pomiędzy pracownikiem a urządzeniem w zależności od temperatury urządzenia).

1. K. Jaiswal, S. Sobhanayak, B. Kumar Mohanta; D. Jena, IoT-cloud based framework for patient's data collection in smart healthcare system using raspberry-pi, International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications (ICECTA), (2017), 1-4.
2. D. Jain, P. Venkata Krishna, V. Saritha, A study on Internet of Things based applications, arXiv:1206.3891, School of Computing Science and Engineering VIT University, Vellore, TN, India, 2012.
3. S. A. Kumar, T. Vealey and H. Srivastava, Security in internet of things: Challenges, solutions and future directions, IEEE In 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), (2016) 5772-5781.
4. D. Engels, X. Fan, G. Gong, H. Hu and E. M. Smith, Ultra-lightweight cryptography for low-cost RFID tags: Hummingbird algorithm and protocol, Centre for Applied Cryptographic Research (CACR) Technical Reports, vol. 29 (2009).
5. M. Katagi and S. Moriai, Lightweight cryptography for the internet of things, Sony Corporation, (2008) 7-10.
6. A. Singh Dahiya, J. Thireau, J. Boudaden, S. Lal, U. Gulzar, Y. Zhang, T. Gil, N. Azemard, P. Ramm, T. Kiessling, Review—Energy Autonomous Wearable Sensors for Smart Healthcare: A Review, J. Electrochem. Soc., 167 (2020) 037516.
7. T.G. Stavropoulos, A. Papastergiou, L. Mpaltadoros, S. Nikolopoulos, I. Kompatsiaris, IoT Wearable Sensors and Devices in Elderly Care: A Literature Review, Sensors 20 (2020) 2826.
8. J. Liu, M. Liu, Y. Bai, J. Zhang, H. Liu, W. Zhu, Recent Progress in Flexible Wearable Sensors for Vital Sign Monitoring, 20 Sensors (2020) 4009.
9. J. Kim, A. S. Campbell, B. Esteban-Fernández de Ávila, J. Wang, Wearable biosensors for healthcare monitoring, Nature Biotechnology 37 (2019) 389–406.
10. J.-H. Lee, Miniaturized Human Insertable Cardiac Monitoring System with Wireless Power Transmission Technique, Journal of Sensors, 2016 (2016) 1–7.
11. M. Frydrysiak, J. Zięba, Textronic, Sensor for Monitoring Respiratory Rhythm, Fibres & Textiles in Eastern Europe, (2012)74-78.
12. J. Leśnikowski, Dielectric permittivity measurement methods of textile substrate of textile transmission lines, Przegląd Elektrotechniczny, 88 (2012)148-151.
13. J. Zięba, M. Frydrysiak, M. Tokarska, Research of Textile Electrodes for Electrotherapy, Fibres & Textiles in Eastern Europe, 19 (2011) 70-74.
14. M. Sibinski, M. Jakubowska, M. Sloma, Flexible Temperature Sensors on Fibers, Sensors, 10 (2010) 7934- 7946.
15. T. Starner, J.A. Paradiso, Human Generated Power for Mobile Electronics, in Piguet, C. (ed), Low Power Electronics, CRC Press, Chapter 45 (2004) 1-35.
16. H Zervos, Thermoelectric Energy Harvesting 2013-2023: Devices, Applications, Opportunitie, PRNewswire, New York, USA, 2013.



17. C.-Y. Sue, N.-C. Tai, Human powered MEMS-based energy harvest devices”, Applied Energy, 93 (2012) 390–403.
18. J. Shengulette, Pace is picking up for Energy Harvester’s Walking Charger, Rochester Democrat and Chronicle, Gannett Co., Inc., McLean, USA, 2012.
19. J.A. Paradiso, T. Starner, Energy Scavenging for Mobile and Wireless Electronics, IEEE Pervasive Computing, 4(2005)18-27.
20. C. R. Saha, T. O’Donnell, N. Wang, P. McCloskey, Electromagnetic generator for harvesting energy from human motion, Sensors and Actuators A, 147(2008)248–253.
21. A. Munaz, B.-C. Lee, G.-S. Chung, A study of an electromagnetic energy harvester using multipole magnet, Sensors and Actuators A, 201 (2013) 134– 140.
22. S. Korla, R.A. Leon, I.N. Tansel, A. Yenilmez, A. Yapici, M. DemetGul, Design and testing of an efficient and compact piezoelectric energy harvester, Microelectronics Journal 42 (2011) 265–270.
23. E. Tkaczyk, Compact and Lightweight Energy Conversion Using Electrostrictive Polymers, Proc. Prospector IX: Human-Powered Systems Technologies, Space Power Inst., Auburn Univ., Nov. 1997, 313-329.
24. J. Kymissis, C. Kendall, J. Paradiso, N. Gershenfeld, Parasitic Power Harvesting in Shoes, Proc. 2nd Int’l Symp. Wearable Computers, IEEE CS Press, (1998) 132–139.
25. S. Priya, D. J. Inman, Energy harvesting Technologies, Springer, New York, USA, 2009.
26. T. Krupenkin, A. Taylor J., Reverse electrowetting as a new approach to high-power energy harvesting, Nature Communications, 2 (2011) 448.
27. <https://www.ibm.com/business-operations/enterprise-asset-management/worker-workplace-safety-solutions>
28. <https://www.ibm.com/docs/en/mwi?topic=devices-supported-maximo-worker-insights>

## Cele projektu:

Celem projektu jest opracowanie modelu innowacyjnego systemu monitorowania wybranych parametrów fizjologicznych oraz wykrywania obecności pracowników w strefach zagrożenia czynnikami szkodliwymi i niebezpiecznymi.

Celem etapu nr I było opracowanie modelu systemu identyfikacji i monitorowania obecności pracowników w strefie zagrożenia współpracującego z sensorami do monitorowania wybranych parametrów fizjologicznych pracowników. W tym celu zaprojektowano i przetestowano systemy komunikacji bezprzewodowej przesyłające informacje dotyczące odczytów z sensorów pomiarowych zarówno parametrów fizjologicznych jak i środowiskowych. Każde urządzenie posiada własny identyfikator pozwalający na identyfikację miejsca lub pracownika, do którego został przypisany.

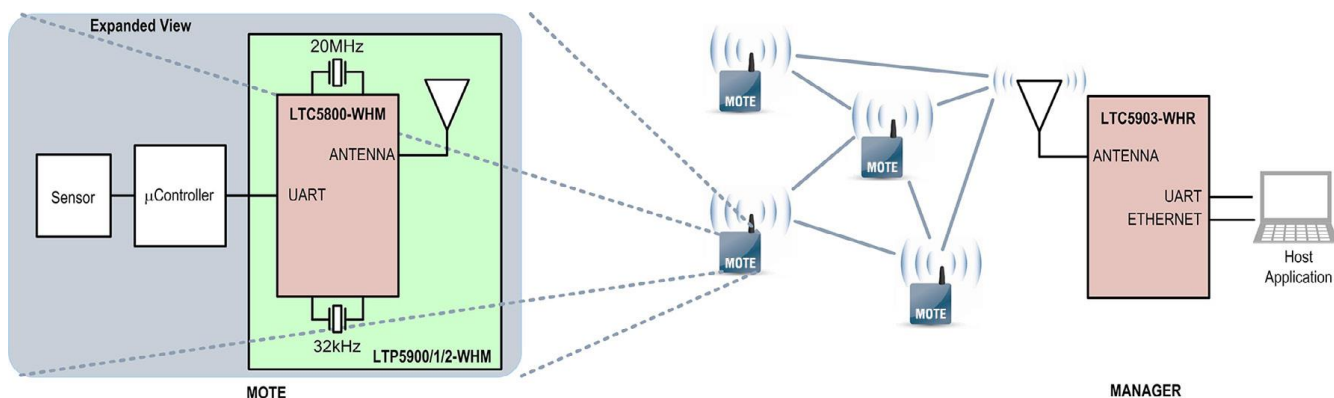
## Opis wykonanych prac

### Telemetria:

Wymóg oparcia systemu nadzoru na bazie IoT jest uzasadniony i powinien zapewnić możliwość elastycznego rozwoju takiego środowiska. Takie podejście jest zgodne z obserwowanymi tendencjami rozwojowymi zakładającymi szerokie wykorzystanie procedur opartych na algorytmach Sztucznej Inteligencji (AI).

Istotną cechą modułów IoT jest to, że zazwyczaj przesyłają dane w sposób nieciągły, w ustalonych odstępach czasu lub w przypadku osiągnięcia progu reakcji przez nadzorowany parametr. Poza tym okresami przechodzą w stan uśpienia, co znacząco redukuje zużycie energii. Prędkości przesyłania danych są także niewielkie w porównaniu z urządzeniami multimedialnymi (0.3 – 57kbps). Jest to następnym czynnikiem zmniejszającym zużycie energii.

Protokoły komunikacyjne stosowane w urządzeniach IoT powinny zapewniać możliwie duży zasięg transmisji a także łatwość dołączenia nowego urządzenia do istniejącej sieci lokalnej. Zazwyczaj jest to automatyczne i nie wymaga dodatkowych działań ze strony użytkownika. Dodatkową zaletą jest także opcja korzystania z protokołów nie wymagających wnoszenia opłat licencyjnych, jednak nie zawsze jest to możliwe. Sieci lokalne zazwyczaj są typu mesh i mają zdolność samo-konfiguracji. Wyróżnia się w nich koordynator (jeden dla sieci lokalnej), router (działanie podobne jak w sieciach klasycznych) i urządzenia końcowe (Rys. 1).



Rys. 1 Mikrosieć wykorzystująca energooszczędne protokoły komunikacyjne i zabezpieczenia wbudowane w procesory sterujące.

Najczęściej stosowane są protokoły komunikacyjne:

- Lo-Ra-WAN (implementacje IoT – X, ResIOT, NB-IOT, Things Connected – opracowana przez UK Digital Catapult)
- 6Lo-WPAN (implementacje DYMO Low, HI-LOW, LOAD, RPL)
- Z-Wave
- ZigBee
- Smart Mesh

Do transmisji wykorzystywane są częstotliwości 2.4GHz oraz należące do pasma ISM 433MHz i 868MHz (Standard IEEE 802.15.4).

W kraju dostępnych jest kilka środowisk programowych umożliwiających obsługę systemów telemetrycznych – wydaje się że najbardziej rozwiniętym dysponuje Comarch. W ramach prac przygotowawczych nawiązano w tym zakresie współpracę.

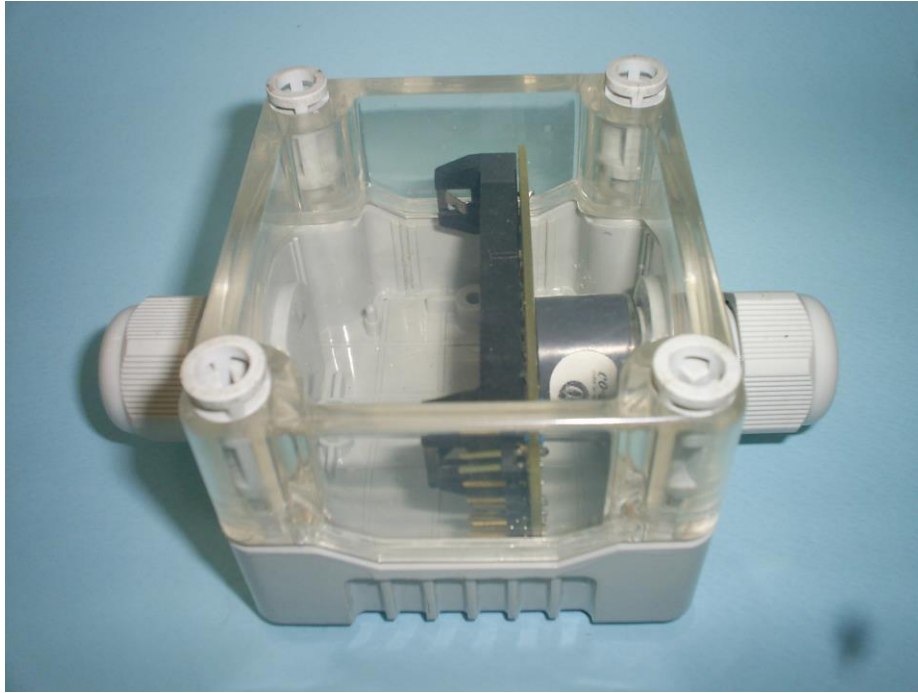
### Zasilanie urządzeń terenowych:

W opracowanych modelach zastosowano urządzenia nazywanych harvesterami, które przekształcają energię rozproszoną w energię elektryczną. Najczęstszym źródłem zasilania są panele fotowoltaiczne małej mocy. Opracowane rozwiązania wykorzystują także elastyczne ogniwa nie krzemowe. Opcjonalnie można wykorzystać termogeneratory (TEG) wytwarzające energię elektryczną bezpośrednio z energii cieplnej.

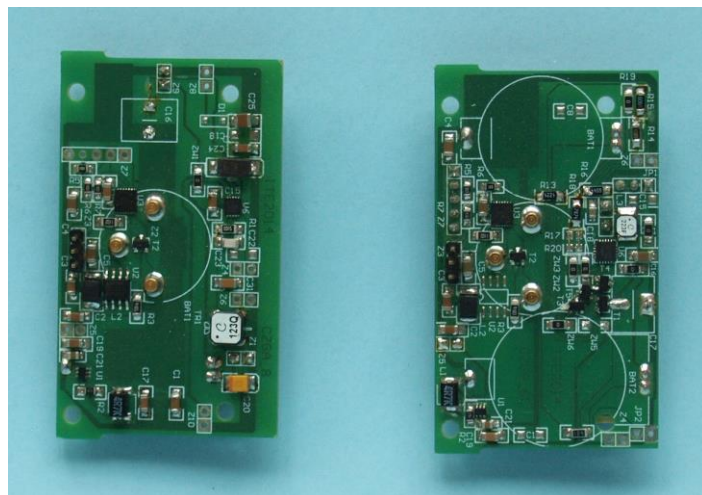
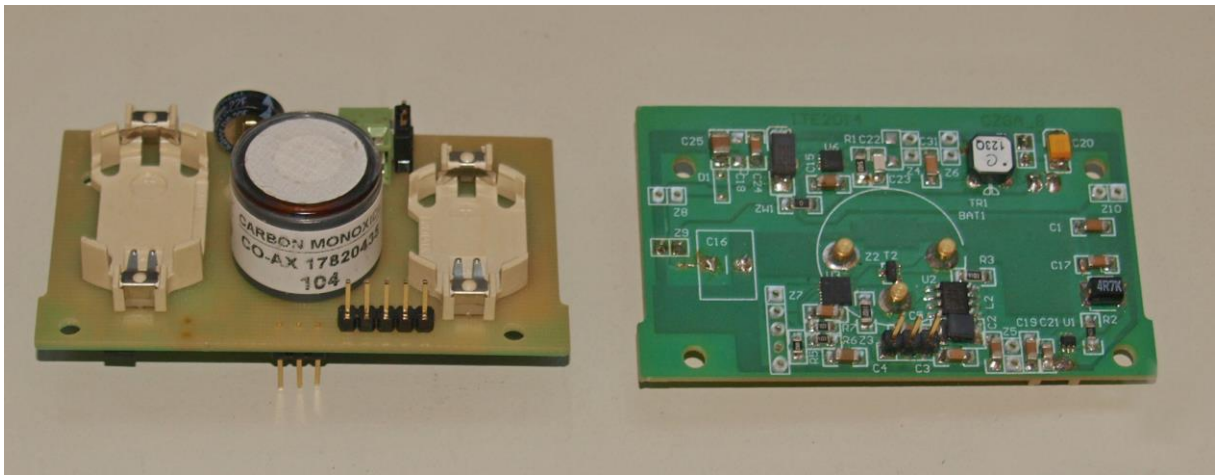
Opracowane harvestery są wyposażone w baterię podtrzymującą (backup), zapewniającą energię w sytuacji awaryjnej. Do przechowywania energii używane są akumulatory litowe wykonane w bezpiecznej technologii Li-FePO<sub>4</sub> lub superkondensatory. Zaletą superkondensatorów jest bardzo duża trwałość – wytrzymują kilkaset tysięcy szybkich cykli ładowania i rozładowania. Dzięki zastosowaniu tego typu urządzeń można wydłużyć czas pracy między wymianami baterii.

W ramach opracowanych modeli urządzeń zastosowano i przetestowano:

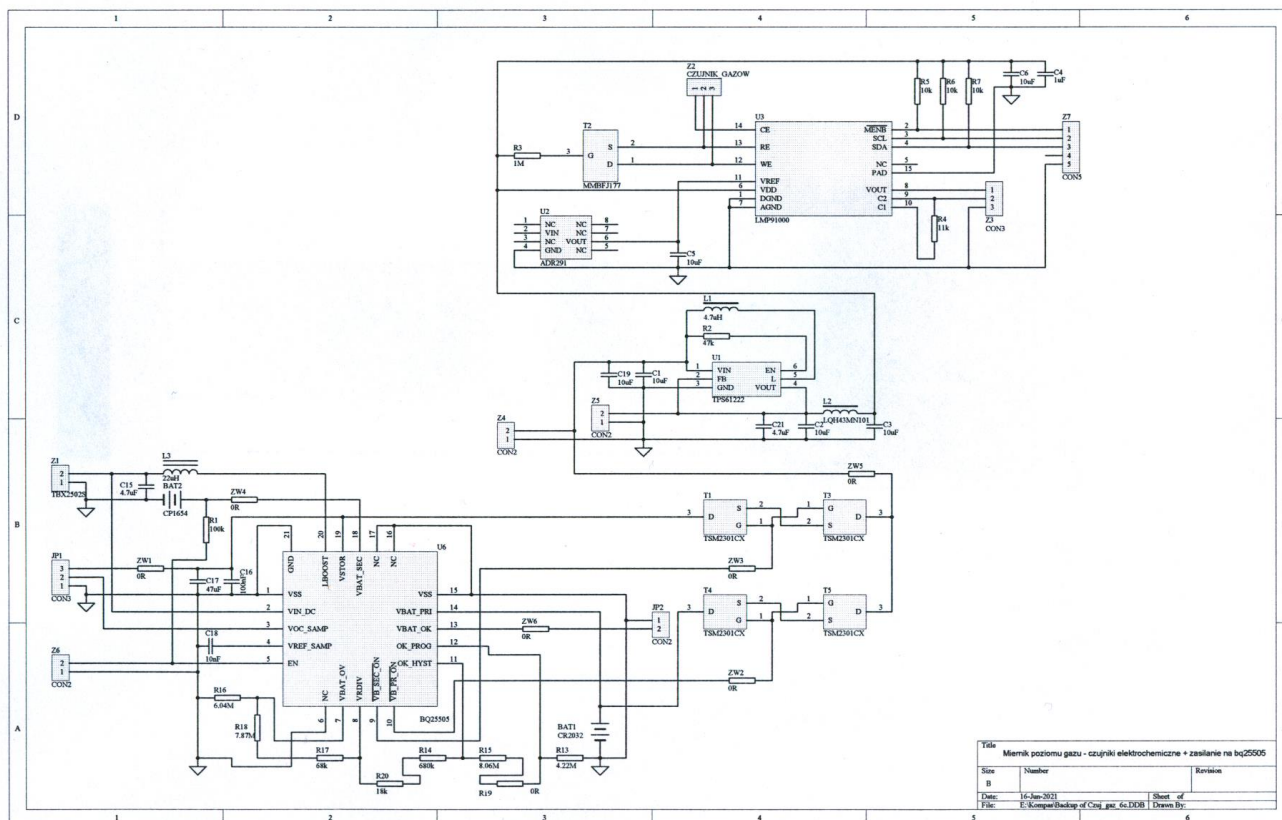
- **sterowniki IoT** oparte na procesorach Nordic. Prace rozpoczęto od układu Thingy, obecnie jako bazę zastosowano najnowsze moduły oparte na układach nRF9160. Zapewniają one możliwość wykorzystania standardowych środowisk programowych jak i przyłączenie szerokiego zakresu modułów pomiarowych,
- **elektrochemiczne czujniki gazowe** monitorujące obecności niebezpiecznych gazów (tlenek węgla, wodór, ozon, dwutlenek siarki, kwas chlorowodorowy, amoniak, dwutlenek azotu) (Rys. 2 - 4),
- **moduły pomiarowe służące do kontroli dynamiki ruchu** – oparte na akcelerometrach, żyroskopach i magnetometrach (pomiar względem ziemskiego pola magnetycznego) do wykrywania nagłych zmiany położenia ciała, które mogą wskazywać wystąpienie sytuacji niebezpiecznych (Rys. 5),
- **moduły służące do wykrywania obecności osób lub źródeł ciepła** w pomieszczeniach działające w oparciu o pomiar temperatury za pomocą matrycowych czujników podczerwieni,
- **moduły do pomiaru nacisków oparte na foliach piezoelektrycznych** o dużej trwałości, umożliwiające monitorowanie ruchu lub zmiany obciążeń na danej powierzchni,
- **moduły służące do odkażania powierzchni oparte na ultrafioletowych diodach LED** do wykorzystania w pomieszczeniach socjalnych, toaletach i innych pomieszczeniach użytkowanych wspólnie przez pracowników,
- **beacony i kompas elektroniczny** umożliwiające kontrolę położenia względem istotnych punktów w przestrzeni roboczej (Rys. 5 i 6),
- **harvestery** zasilające oparte na układach Analog Devices o mocy do 250mW (Rys. 7 - 9).



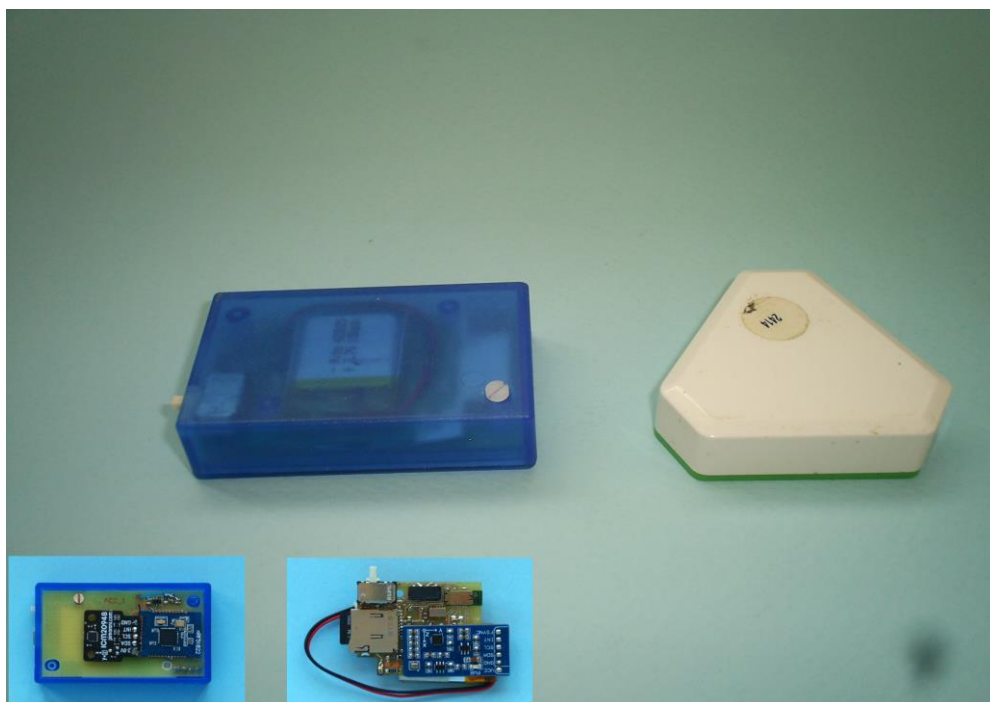
Rys 2. Uniwersalny moduł z czujnikiem gazowym opartym na zasadzie elektrochemicznej (można montować czujniki: CO, Amoniak, Tlenku Azotu (NO), Dwutlenku Azotu (NO<sub>2</sub>), Dwutlenku Siarki (SO<sub>2</sub>), Wodoru (H<sub>2</sub>), Ozonu (O<sub>3</sub>), Chlorowodoru (HCl)).



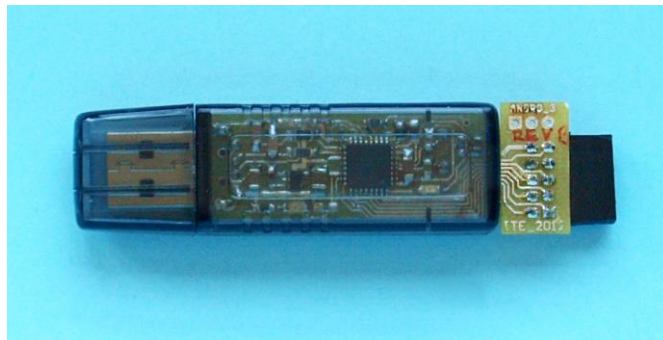
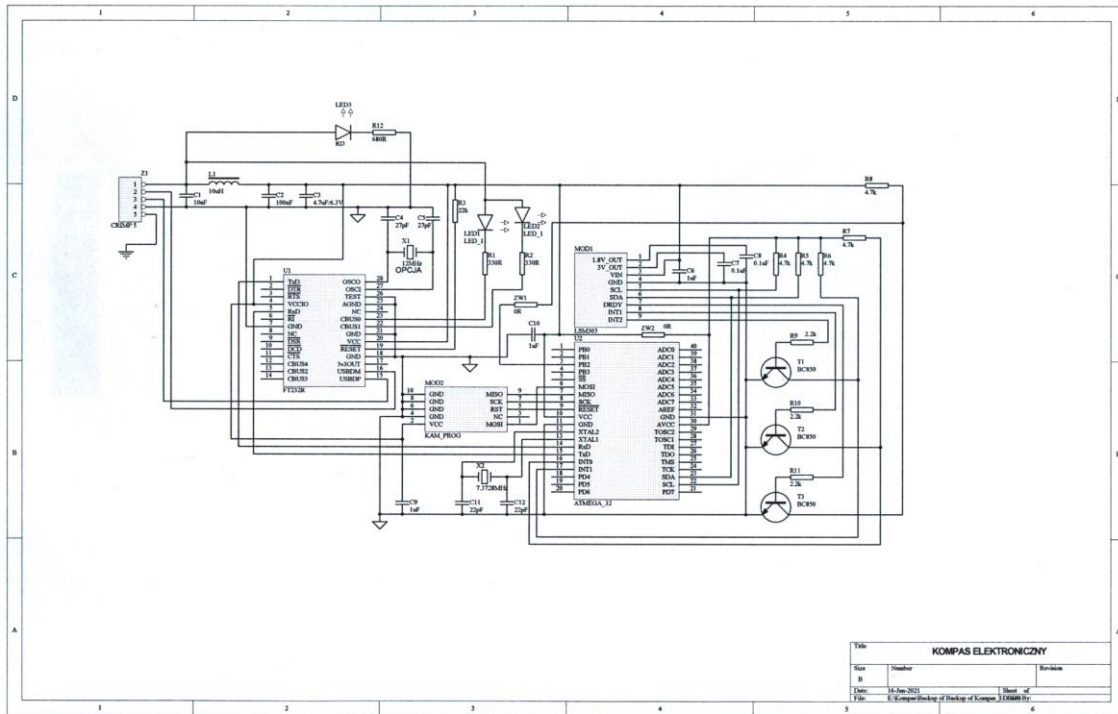
Rys. 3 Układ pomiarowy z czujnikiem do pomiaru poziomu tlenu węgla.



Rys. 4 Schemat układu do pomiaru poziomu mono tlenku węgla - CO.



Rys 5. Moduł pomiarowy wyposażony w akcelerometr, żyroskop, magnetometr oraz nadajnik Bluetooth 4.2 i kartę pamięci (z lewej) oraz Beacon mogący sygnalizować obecność zagrożenia w danej strefie (z prawej).



Rys. 6 Kompas elektroniczny do określania kierunku ruchu i orientacji pracownika w przestrzeni wraz ze schematem urządzenia



Rys 7. Układ zasilający (harwester) z klasycznym ogniwem fotowoltaicznym.



Rys 8. Układ zasilający (harwester) z elastycznym ogniwem fotowoltaicznym.





40	0,6198	9,60	16,10	3150	104,65	9,18
30	0,3501	4,09	8,10	1653	52,65	7,76
20	0,3189	5,08	15,10	3060	98,15	5,18
10	0,1705	2,91	14,00	2580	91,00	3,19

Wyniki pomiarów mocy i sprawności monokrystalicznych paneli fotowoltaicznych :

R [Ohm]	U [V]	P [mW]	S [mV]	L [lux]	Pin[mW]	Eff [%]
10000	1,4381	0,21	9,2	1850	74,52	0,28
9000	1,4424	0,23	9,7	1920	78,57	0,29
8000	1,4195	0,25	5,1	1127	41,31	0,61
7000	1,3776	0,27	4,6	956	37,26	0,73
6000	1,3523	0,30	3,3	856	26,73	1,14
5000	1,3342	0,36	2,8	775	22,68	1,57
4000	1,3109	0,43	2,5	743	20,25	2,12
3000	1,2954	0,56	2,4	756	19,44	2,88
2000	1,2789	0,82	2,5	785	20,25	4,04
1000	1,2436	1,55	2,6	817	21,06	7,34
900	1,2301	1,68	2,8	862	22,68	7,41
800	1,2291	1,89	2,9	898	23,49	8,04
700	1,2275	2,15	3,1	946	25,11	8,57
600	1,2219	2,49	3,4	993	27,54	9,04
500	1,2078	2,92	3,7	1053	29,97	9,73
400	1,1895	3,54	4,1	1123	33,21	10,65
300	1,1595	4,48	4,6	1205	37,26	12,03
200	1,0595	5,61	4,9	1269	39,69	14,14
100	0,7595	5,77	5,4	1324	43,74	13,19
90	0,7609	6,43	6,7	1540	54,27	11,85
80	0,7508	7,05	7,3	1615	59,13	11,92

W załączonych\_wynikach pomiarów wykonanych dla krzemowych ogniw fotowoltaicznych monokrystalicznych (Si-mono) i polikrystalicznych (Si-Poly) widoczna jest znacząco wyższa sprawność ogniw monokrystalicznych.

Przetestowano pracę modułów w podwyższonej temperaturze (120 godzin w temperaturze 75 stopni Celsjusza) i w obniżonej (48 godzin w temperaturze 0 stopni Celsjusza). Moduły harwesterów działały prawidłowo w trakcie i po zakończeniu testów.

## Weryfikacja zasięgu urządzeń Bluetooth Low Energy (BLE) 4.2

W ramach przeprowadzonych badań sprawdzono realne zasięgi dwóch nadajników urządzeń BLE zbudowanych przy pomocy układu serii ESP32 oraz NRF52. Układ NRF52 wyposażony był w antenę ceramiczną smd, natomiast układ ESP32 używał anteny drukowanej na laminacie PCB. Za urządzenia odbiorcze posłużyły dwa telefony (Iphone serii 7 oraz Samsung serii J3). Zaobserwowano niewielkie różnice w sile sygnału (2 do 3 dB) w zależności od rodzaju urządzeń końcowych nadawczo-odbiorczych. Możliwe były następujące cztery konfiguracje:

- ESP32 – Iphone
- ESP32 – Samsung

- NRF52 – Iphone
- NRF52 – Samsung

Powyższe pary urządzeń pozwoliły na łączność dwustronną w otwartym terenie na odległość 170m. Wewnątrz budynku udało się potwierdzić zasięg ok. 50m limitowany długością korytarza na którym przeprowadzano testy.

## **Wnioski**

W ramach przeprowadzonych prac badawczych wykonano i przetestowano wiele rozwiązań, które będą mogły być użyte w dalszych etapach prac projektowych. Do transmisji w obszarze monitorowanym przez system, wystarczające wydają się być moduły pracujące w standardzie Bluetooth Low Energy (4.2 lub 5.0), które pozwalają na komunikację w promieniu do 170m. Natomiast przy współpracy systemu z chmurą potrzebny jest dodatkowy punkt styku z siecią internet (LAN, WLAN lub modem sieci komórkowej).

Moce osiągnięte przez panele poli i monokrystaliczne są wystarczające do zasilania urządzeń w terenie, gdzie nie ma dostępu do zasilania sieciowego.