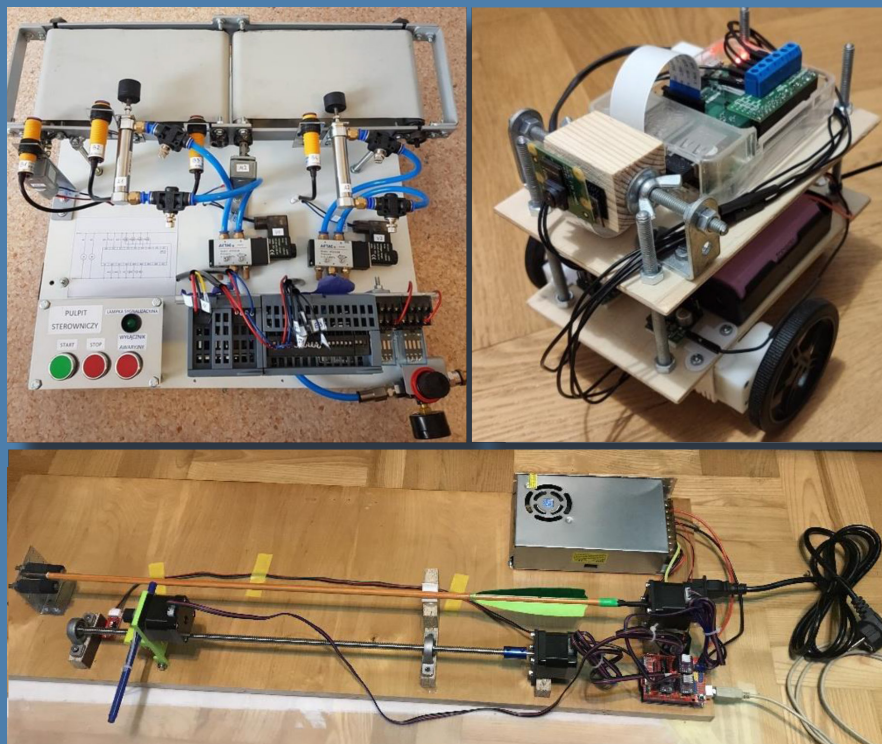


# Problemy Współczesnej Inżynierii

Wybrane zagadnienia elektrotechniki i elektroniki przemysłowej



redakcja  
*Piotr Z. Filipek*  
*Andrzej Kociubiński*  
*Paweł A. Mazurek*  
*Tomasz N. Kołtunowicz*  
*Jacek Majcher*  
*Sebastian Styła*

Politechnika Lubelska  
Lublin 2020

# Problemy Współczesnej Inżynierii

Wybrane zagadnienia elektrotechniki i elektroniki przemysłowej

# Monografie – Politechnika Lubelska



Politechnika Lubelska  
Wydział Elektrotechniki i Informatyki  
ul. Nadbystrzycka 38A  
20-618 Lublin

# Problemy Współczesnej Inżynierii

Wybrane zagadnienia elektrotechniki i elektroniki przemysłowej

redakcja:

Piotr Z. Filipek

Andrzej Kociubiński

Paweł A. Mazurek

Tomasz N. Kołtunowicz

Jacek Majcher

Sebastian Styła



Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej  
Lublin 2020

Recenzenci:  
członkowie Komitetu Naukowego X Sympozjum Elektryków  
i Informatyków

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

© Copyright by Politechnika Lubelska 2020

ISBN: 978-83-7947-416-5

Wydawca: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej  
[www.biblioteka.pollub.pl/wydawnictwa](http://www.biblioteka.pollub.pl/wydawnictwa)  
ul. Nadbystrzycka 36C, 20-618 Lublin  
tel. (81) 538-46-59

Druk: DjaF – 30-092 Kraków, ul. Kmiotowicza 1/1  
[www.djaf.pl](http://www.djaf.pl)

---

Elektroniczna wersja książki dostępna w Bibliotece Cyfrowej PL [www.bc.pollub.pl](http://www.bc.pollub.pl)

Nakład: 50 egz.

## SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA	7
1 JAROSŁAW ALAGIERSKI, <i>Testowe procesy utleniania chemicznego podłoży GaAs</i>	9
2 KATARZYNA BARAN, <i>Mobilna termografia w monitorowaniu zdrowia</i>	21
3 KAROL BUCZEK, KLAUDIA NOWAK, AGNIESZKA DUDZIAK, <i>Lean management elementem zrównoważonego rozwoju w zarządzaniu przedsiębiorstwem</i>	33
4 KAROL BUCZEK, KLAUDIA NOWAK, AGNIESZKA DUDZIAK, <i>Kierunek rozwoju, szanse i zagrożenia implementowania systemu CRM</i>	42
5 MAŁGORZATA CHEĆ, MONIKA STOMA, <i>Perspektywa rozwoju rynku samochodów autonomicznych</i>	52
6 ŁUKASZ GAJOWIK, <i>Wykorzystanie sterownika PLC do kontroli pracy podajnika wraz z segregacją materiału</i>	63
7 WERONIKA GŁOWIENKA, MARTYNA JAROSZ, MONIKA STOMA, <i>Technologia RFID – koncepcja i zastosowanie</i>	71
8 MICHAŁ GUZ, <i>Urządzenie do nanoszenia grafiki na drewniane strzały łucznicze</i>	84
9 JAKUB IRACKI, <i>Automatyczny system nawigacji platformy mobilnej wykorzystujący śledzenie obiektu</i>	95
10 JAKUB KISAŁA, <i>Badania właściwości ferromagnetycznych rezystorów cienkowarstwowych</i>	107
11 ALICJA ŁYJAK, EWELINA STEŻYCKA, <i>Przegląd metod analizy sygnału elektrokardiograficznego oraz fonokardiograficznego</i>	119
12 MAGDALENA MATEUSIAK, MONIKA STOMA, <i>Możliwości oraz zagrożenia implementacji założeń koncepcji „Gospodarki 4.0” w ujęciu teoretycznym i praktycznym</i>	136
INFORMACJE O X SYMPOZJUM NAUKOWYM ELEKTRYKÓW I INFORMATYKÓW	144
SPONSORZY I INSTYTUCJE WSPIERAJĄCE X SYMPOZJUM NAUKOWE ELEKTRYKÓW I INFORMATYKÓW	146
PATRONI X SYMPOZJUM NAUKOWEGO ELEKTRYKÓW I INFORMATYKÓW	147



## PRZEDMOWA

*Szanowni Uczestnicy i Sympatycy Sympozjum, Czytelnicy*

Z ogromną dumą przekazujemy w Państwa ręce monografię stanowiącą zbiór wyselekcjonowanych i recenzowanych artykułów po X edycji studenckiego Sympozjum Naukowego Elektryków i Informatyków (SNEiI 2020), jakie odbyło się w dniach 5–6 marca 2020 roku na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej.

Tradycyjnie wydarzenie to swoim patronatem objęli: JM Rektor Politechniki Lubelskiej, Dziekan Wydziału Elektrotechniki i Informatyki, Prezes Urzędu Komunikacji Elektronicznej oraz Lubelski Oddział Stowarzyszenia Elektryków Polskich. Organizatorami Sympozjum były studenckie koła naukowe z Wydziału Elektrotechniki i Informatyki wspierane członkami wydziałowego Samorządu Studenckiego.

Obecne wydanie ma dla nas organizatorów szczególną wartość. Wynika to z faktu jubileuszu – od dziesięciu lat nieprzerwanie organizowanej konferencji. Od samego początku celem organizowania tego Sympozjum była wymiana informacji i doświadczeń praktycznych w gronie studentów, nauczycieli akademickich i przedstawicieli otoczenia społeczno-biznesowego. Tematyka Sympozjum, jak co roku, obejmowała obszary dziedzin techniki powiązane z kierunkami studiów realizowanymi na naszym Wydziale: elektrotechniką, mechatroniką, informatyką oraz inżynierią biomedyczną.

Tegoroczne Sympozjum rozpoczęła sesja otwarta, którą zaszczytili swoim udziałem: Dziekan Wydziału Elektrotechniki i Informatyki prof. dr hab. inż. Henryka Danuta Stryczewska, Prezes Zarządu Lubelskiego Oddziału SEP inż. Tadeusz Karczmarczyk, dyrektor Oddziału Urzędu Komunikacji Elektronicznej w Lublinie mgr inż. A. Kaczor. Licznie przybyli pracownicy i studenci Politechniki wysłuchali trzech prelekcji:

- „Energy Harvesting – przegląd nowych rozwiązań” – wygłoszonej przez dr inż. Bartłomieja Guzowskiego z Politechniki Łódzkiej,
- „Autonomiczne źródła energii wykorzystywane w trolejbusach” wygłoszonej przez Piotra Hołyszko z Zakładu Autobusowego, MPK Lublin Sp. z o.o.,
- „Pomysł na życie – współpraca z Samsung Inkubator i uczelnią” wygłoszonej przez Arkadiusza Wrzosza, przedstawiciela firmy Billy Plus – startup w Samsung Inkubator.



W obradach studenckiej części plenarnej wzięli udział studenci z Politechniki Łódzkiej, Lubelskiej, Uniwersytetu Szczecińskiego, Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie oraz studenci z uczelni z Ukrainy. Uczestnicy wygłosili ponad 30 referatów będących wynikiem ich badań naukowych, prac dyplomowych i projektów realizowanych w kołach naukowych. W trakcie studenckiej sesji równolegle odbyła się sesja plenarna dla doktorantów oraz prezentacja projektów studenckich.

Drugi dzień Sympozjum poświęcony był doskonaleniu zawodowemu studentów – dla zainteresowanych studentów odbyły się szkolenia i warsztaty, które zorganizowały firmy NEWAG INTECO DS. S.A. oraz KUKA CEE GmbH Sp. z o.o. Oddział w Polsce.

Niezmiernie nas cieszy, że marcowe Sympozjum pomimo zbliżającej się pandemii COVID-19 cieszyło się ogromnym zainteresowaniem, a prezentowane w jego trakcie referaty cechował wysoki poziom merytoryczny. Dowodem jest niniejsza obszerna publikacja pokonferencyjna, która została zredagowana w postaci dwóch tomów. Publikacja jest rezultatem pracy wielu uczestników konferencji. Znajdą w niej Państwo wątki prowadzonych dyskusji, ale przede wszystkim są tu studenckie prace dające możliwość bliższego poznania problemów, wyzwań i dylematów, z jakimi wiąże się dzisiejsza elektrotechnika, mechatronika i informatyka. Myślimy, że będzie to interesujące dla wielu Czytelników, również tych niezajmujących się profesjonalnie tymi zagadnieniami.

Oddane w Państwa ręce dwa tomy utwierdzają nas w przekonaniu, że organizacja cyklicznego Sympozjum Naukowe Elektrotechników i Informatyków jest jednym z istotnych czynników wpływających na rozwój naukowy i zawodowy studentów, a wydarzenie trwale wpisało się kalendarz życia akademickiego Politechniki Lubelskiej jako platforma integracji tego środowiska studenckiego na wielu płaszczyznach.

*Komitet Organizacyjny Sympozjum  
i Redaktorzy*

**Jarosław ALAGIERSKI**

Politechnika Łódzka

## **TESTOWE PROCESY UTLENIANIA CHEMICZNEGO PODŁOŻY GaAs**

### **1. Wstęp**

Celem pracy było skonfigurowanie stanowiska i przeprowadzenie testowego niskotemperaturowego procesu utleniania chemicznego w laboratorium „clean room” znajdującym się w Katedrze Przyrządów Półprzewodnikowych i Optoelektronicznych Politechniki Łódzkiej.

### **2. Prace badawcze**

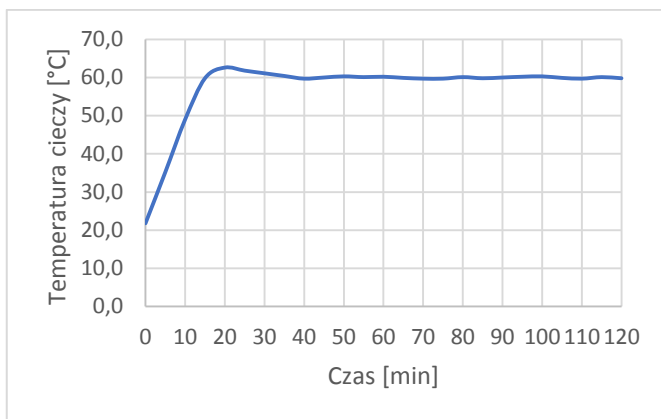
W tym rozdziale zostaną przedstawione etapy pracy, które zostały wykonane i są następujące:

- budowa stanowiska laboratoryjnego,
- przygotowanie próbek do badań,
- przygotowanie roztworu utleniającego,
- proces utleniania chemicznego.

#### **2.1. Budowa stanowiska laboratoryjnego**

W początkowej fazie badań praca skupiona była na stworzeniu stanowiska laboratoryjnego. Do tego celu wykorzystano łaźnię olejową, w której należało ustabilizować temperaturę. Próby tej stabilizacji nie powiodły się. Pomimo ustawienia regulowanego pokrętkła na ustaloną pozycję, temperatura rosła. Z uwagi na brak możliwości wykorzystania łaźni, postanowiono wykorzystać do budowy stanowiska, znajdującą się w laboratorium, płytę grzewczą.

Badania na płycie grzewczej zakończyły się pozytywnym skutkiem, a temperaturę 60°C w zlewce udało się uzyskać nastawiając płytę na 80°C. Stabilizacja temperatury była kluczowym zadaniem potrzebnym do prawidłowego przeprowadzenia procesu utleniania chemicznego. W tabeli 1 zostały zestawione pomiary temperatury wody w zlewce, uwzględniając czas trwania badania oraz temperaturę płyty grzewczej. Na rysunku 1 przedstawiono graficznie zmierzoną temperaturę w zlewce w funkcji czasu.



Rys. 1. Wykres stabilizacji temperatury cieczy w funkcji czasu

Tabela 1. Pomiary temperatury stabilizacji płyty grzewczej

Próba 60 °C		
Temperatura płyty °C	Czas min	Temperatura cieczy °C
100	0	21,8
	5	35,2
80	10	49,0
	15	59,8
	20	62,6
	25	61,8
	30	61,1
	35	60,4
	40	59,7
	45	60,0
	50	60,3
	55	60,1
	60	60,2
	65	59,9
	70	59,7
	75	59,7
	80	60,1
	85	59,8
	90	60,0
	95	60,2
	100	60,3
	105	59,9
110	59,7	
115	60,1	
120	59,8	

## 2.2. Przygotowanie próbek do badań

Kolejnym etapem było przygotowanie podłoża GaAs do utleniania. Fragment dostępnej płytki, został pocięty na 7 próbek, każda z nich została oznaczona numerem od 1 do 7. Numeracja próbek wykonana została rysikiem diamentowym, cyframi rzymskimi. Oznaczenie to miało swój cel w dalszej części pracy. Na rysunku 2 przedstawione są przygotowane, tj. pocięte i oznaczone próbki.



Rys. 2. Numeracja próbek

Oznaczone płytki były gotowe do czyszczenia. Pierwsze w kolejności było czyszczenie wstępne w mieszaninie o nazwie CARO, w której skład wchodzi  $\text{H}_2\text{O}_2$ – $\text{H}_2\text{SO}_4$  w proporcji odpowiednio 1:4. Próbki czyszczone były w tej mieszaninie przez 10 minut. Po zakończeniu kąpieli, podłoża zostały przełożone do zlewki z przygotowaną wcześniej wodą dejonizowaną i następnie w niej płukane. Próbki oznaczone numerami 1 i 2 były suszone przez 30 minut w temperaturze  $150^\circ\text{C}$  i odłożone do wystygnięcia, natomiast reszta próbek została poddana kolejnym etapom czyszczenia. Kolejny etap czyszczenia został przeprowadzony z wykorzystaniem procedury RCA. Zakłada ona dwie fazy usuwania zanieczyszczeń, pierwsza z nich (SC-1) służy do usuwania zanieczyszczeń organicznych, natomiast druga (SC-2) służy do usuwania pozostałych jonów zanieczyszczeń. Cała procedura RCA wykonywana była na płycie grzewczej w temperaturze  $80^\circ\text{C}$  przez 15 minut, na każdą fazę czyszczenia. Usuwanie zanieczyszczeń organicznych zostało przeprowadzone w mieszaninie alkalicznej składającej się z  $\text{DI-NH}_4\text{OH-H}_2\text{O}_2$  w proporcjach 5:1:1. Kolejną fazą z procedury RCA było czyszczenie w roztworze kwasu solnego, w którego skład wchodzi  $\text{DI-HCl-H}_2\text{O}_2$  w proporcjach 6:1:1. Po wyjęciu próbek z roztworu kwasu solnego, zostały one wypłukane w wodzie dejonizowanej, a następnie

suszone przez 30 minut w około 150°C i studzone. Ostatnią metodą wykorzystaną do czyszczenia podłoży było czyszczenie plazmą argonową i tlenową. Podłoża zostały umieszczone w reaktorze plazmowym dostępnym w laboratorium „clean room” Katedry Przyrządów Półprzewodnikowych i Optoelektronicznych Politechniki Łódzkiej.

### 2.3. Przygotowanie roztworu utleniającego

Kolejnym etapem pracy badawczej było przygotowanie roztworu. Początkowo podzielony został gal o kształcie walca, ważący 25 g, na odpowiednie kawałki. Po pocięciu otrzymano 3 kawałki o wagach odpowiednio 4,8 g, 4,3 g, 4,6 g i jeden około 11,3 g. Użycie takich proporcji umożliwiło późniejszą swobodną możliwość dostosowania ilości składników mieszaniny. Kolejnym krokiem było przygotowanie roztworu do wygrzewania na płycie grzewczej. Składał się on z wody dejonizowanej, kwasu azotowego o stężeniu 70% oraz galu. Poniżej zostały podane proporcje przygotowanych mieszanin ( $\text{HNO}_3/\text{DI}+\text{Ga}$ ) do wygrzewania:

- 1) 40/10+4,8g,
- 2) 40/15+4,3g,
- 3) 40/20+4,6g.

Pierwsze dwa roztwory zostały postawione na płycie grzewczej, której temperatura ustawiona była na 80°C. Gal został wrzucony do postawionych na płycie grzewczej zlewek zawierających roztwór, a wygrzewanie trwało 8 godzin. Na rysunku 3 zostały przedstawione gotowe roztwory utleniające.



Rys. 3. Gotowe roztwory

Po upływie 8 godzin, roztwory były gotowe do przeprowadzenia utleniania. Widoczne na rysunku 3 różnice w kolorach cieczy wynikają z różnicy w proporcjach ilości wody dejonizowanej w stosunku do ilości kwasu azotowego. W brązowym roztworze podczas wygrzewania można było

zauważyć uwalniające się bąbelki (musował), drugi roztwór nie wykazywał takich właściwości.

#### 2.4. Proces utleniania chemicznego

Przed utlenianiem podłoży GaAs w przygotowanym roztworze, potrzebne było trawienie tlenku, widoczne na rysunku nr 4, powstałego przy kontakcie z powietrzem. Trawienie to odbywało się w kąpeli w amoniaku  $\text{NH}_4\text{OH}$  o stężeniu około 19%, powstałego przez odpowiednie rozcieńczenie dostępnego w laboratorium 25% roztworu. Czas trwania procesu to 5 minut.



Rys. 4. Kąpiel w amoniaku przed procesem utleniania chemicznego

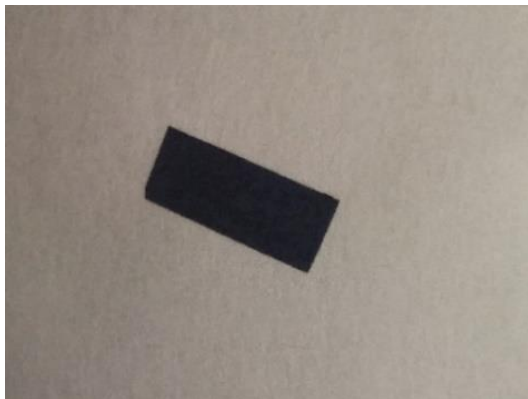
Po wyjęciu próbek z amoniaku należało natychmiast umieścić je w roztworze utleniającym. Próbka numer 4 została umieszczona w pierwszym roztworze (40/10+4,8 g), co zostało zaprezentowane na rysunku 5. Próbka numer 5 została umieszczona w trzecim roztworze (40/20+4,6 g). Proces utleniania chemicznego trwał 10 minut. Po wyjęciu próbki z roztworu została ona wypłukana w wodzie dejonizowanej i włożona do suszarki nastawionej na  $150^\circ\text{C}$ .



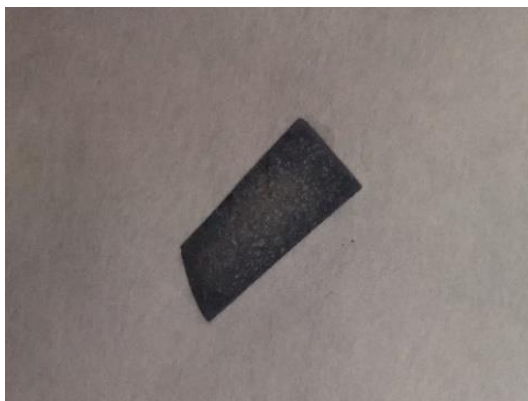
Rys. 5. Utlenianie chemiczne podłoży GaAs

### 3. Wyniki badań

Ostudzone próbki w pierwszej kolejności zostały poddane kontroli wizualnej. Próbki po procesie utleniania zostały przedstawione na rysunkach 6 i 7. Wykazały one zmiany na powierzchni próbek oraz kolor podłoża. Badania właściwości podłoża w kontakcie z wodą pokazały, że struktura zmieniła swoje właściwości hydrofobowe na hydrofilowe.

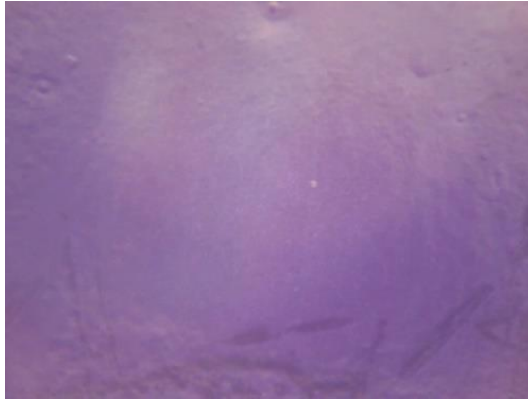


Rys. 6. Próbką numer 4 po utlenianiu



Rys. 7. Próbką numer 5 po utlenianiu

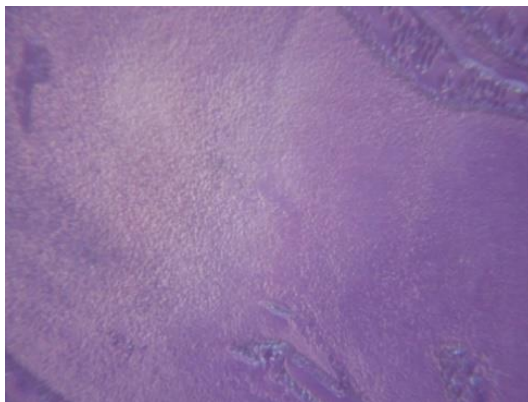
Próbki zostały ponownie suszone przez 30 minut w temperaturze 150°C. Po ostudzeniu podłoża zostały one zbadane pod mikroskopem optycznym, w celu oceny ich powierzchni i porównania ze strukturą przed utlenianiem. Wyniki tego badania zostały przedstawione na rysunkach 8–11.



Rys. 8. Próbkę numer 4 przed utlenianiem

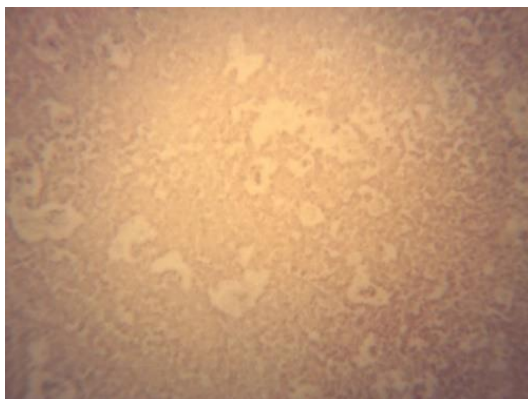


Rys. 9. Próbkę numer 4 po utlenianiu



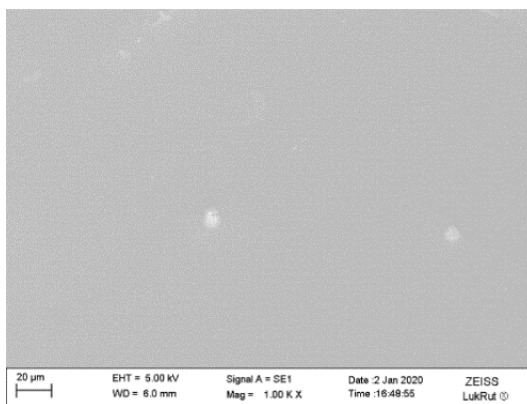
Rys. 10. Próbkę numer 5 przed utlenianiem



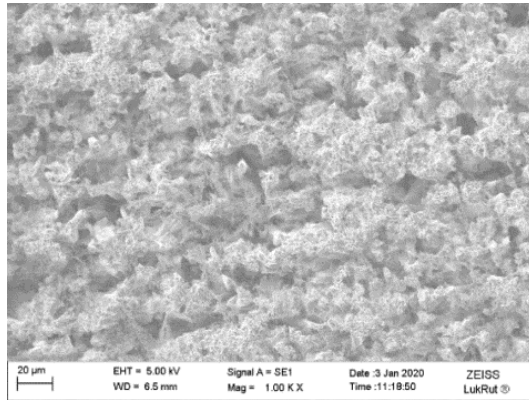


Rys. 11. Próbkę numer 5 po utlenianiu

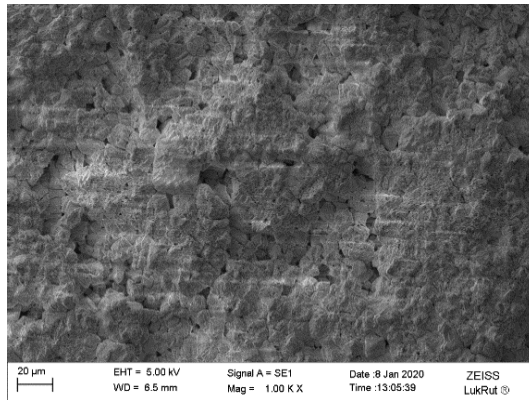
Porównując struktury próbek przed utlenianiem i po utlenianiu widoczna jest zmiana struktury, nie jest ona idealnie gładka, posiada wiele niedoskonałości, które wymagają poprawy. Próbki zbadane pod mikroskopem optycznym zostały następnie umieszczone w skaningowym mikroskopie elektronowym w celu bardziej wnikliwej oceny powierzchni. Na rysunkach 12–14 zostały przedstawione zdjęcia ze skaningowego mikroskopu elektronowego przed utlenianiem i po utlenianiu.



Rys. 12. Próbkę numer 4 przed utlenianiem – powiększenie 1k

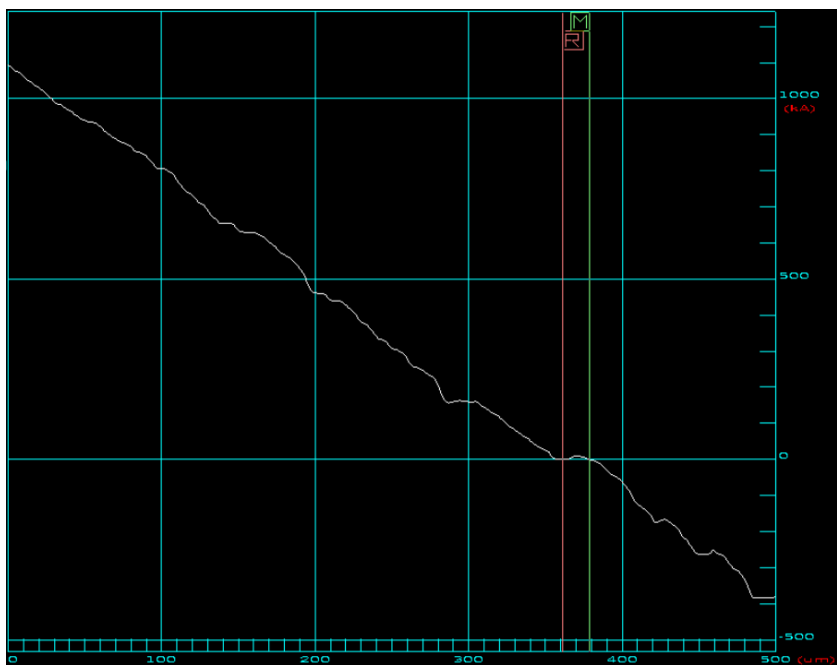


Rys. 13. Próbkę numer 4 po utlenianiu – powiększenie 1k

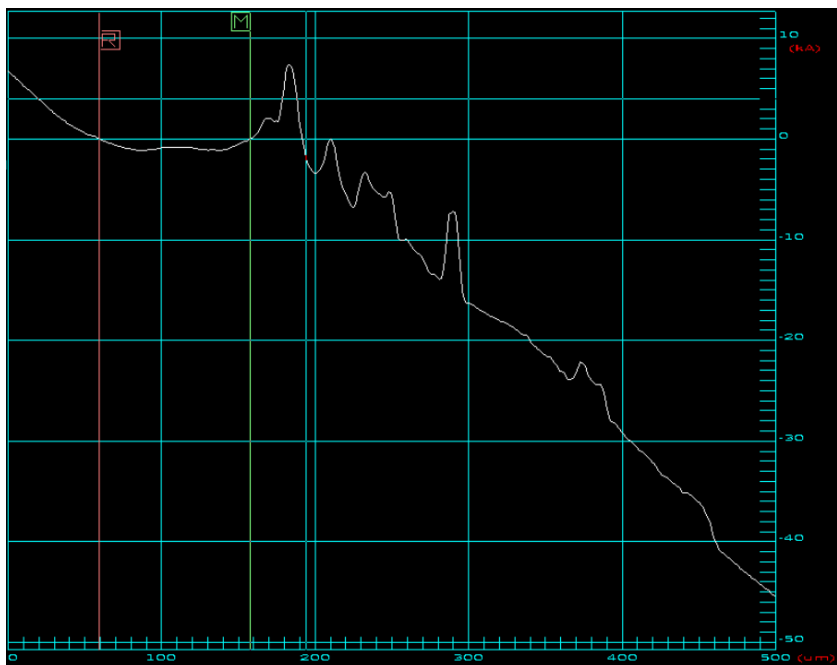


Rys. 14. Próbkę numer 5 po utlenianiu – powiększenie 1k

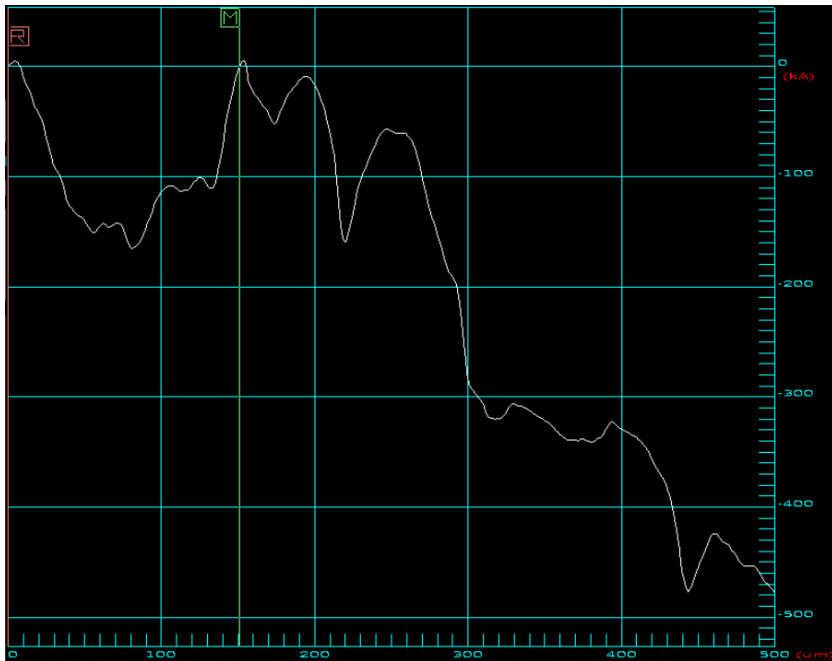
Badanie skaningowym mikroskopem elektronowym potwierdziło wytworzenie nowej warstwy na podłożach GaAs, po procesie utleniania. Próbkę ta, podobnie jak pozostałe, po utlenianiu chemicznym charakteryzuje się wysoką chropowatością, przypominającą struktury krystaliczne. W celu dalszego badania chropowatości powierzchni, próbki zostały poddane obserwacji przy użyciu profilometru. Badanie to wykazało, że próbki przed utlenianiem posiadają znacznie mniejsze niedoskonałości pod względem chropowatości powierzchni niż próbki po procesie utleniania chemicznego. Na rysunkach 15–17 zostały przedstawione wyniki badań przy użyciu profilometru.



Rys. 15. Próbkę numer 4 po utlenianiu



Rys. 16. Próbkę numer 5 przed utlenianiem



Rys. 17. Próbkę numer 5 po utlenianiu

Charakterystyka z rysunku 15 dla próbki numer 4 posiada niewielkie chropowatości w porównaniu z charakterystyką z rysunku 16, dla próbki numer 5. Zmierzona dla próbki numer 4 chropowatość wynosi 279,6 nm. Na rysunkach 16 i 17 przedstawiono profil próbki numer 5 przed i po utlenianiu chemicznym. Zmierzona chropowatość próbki nr 5 przed utlenianiem wynosiła 22 nm. Próbkę numer 5 z rysunku 17, charakteryzuje się dużą chropowatością, której zmierzona wartość wynosi około 4,5  $\mu\text{m}$ .

#### 4. Podsumowanie

W wyniku zrealizowanych badań wykonano testowe procesy utleniania chemicznego podłoża GaAs. Przeprowadzone badanie ujawniło jednak jego niedoskonałości. Są to: niejednorodność powierzchni, a także znaczna chropowatość wytworzonej warstwy. Co ważne, uzyskane nowe warstwy różniły się między sobą pomimo identycznego przebiegu procesu. W trakcie realizacji pracy, w pierwszej kolejności, wykonany został szereg pomiarów temperatury wody w zlewce, w celu ustabilizowania jej wartości. Kolejnym krokiem było podzielenie podłoża GaAs na 7 części oraz ich odpowiednie oznaczenie. Etap czyszczenia próbek został przeprowadzony w mieszaninie

CARO, następnie wykorzystano procedurę RCA. W przypadku pojedynczej próbki została wykorzystana również procedura czyszczenia plazmowego w plazmie argonowej oraz tlenowej. Po tym etapie przygotowany został roztwór utleniający. Składał się on z wody dejonizowanej, kwasu azotowego oraz galu o wysokiej czystości. Tak przygotowany roztwór był wygrzewany przez 8 godzin. Po wygrzaniu roztworu, wcześniej wyczyszczone, próbki zostały umieszczone w  $\text{NH}_4\text{OH}$ . Po tej operacji próbki zostały umieszczone w roztworze utleniającym o temperaturze  $60^\circ\text{C}$ . W kolejnym kroku wypłukano próbki w wodzie dejonizowanej oraz je wysuszono. Następnie, zmiany na powierzchni próbek były obserwowane za pomocą mikroskopu optycznego oraz skaningowego mikroskopu elektronowego.

W celu wyznaczenia profilu oraz zmierzenia chropowatości wytworzonych warstw, wykorzystany został profilometr. Na próbkach nr 4 i 5, wynosiły odpowiednio 279,6nm i 4,5 $\mu\text{m}$ . Otrzymywane chropowatości warstw tlenkowych powinny być powtarzalne dla danego czasu utleniania. Podczas badań okazało się jednak, że chropowatość próbek nr 4 i 5, które przebywały w roztworze utleniającym taki sam czas tj. 10 minut, różniły się od siebie.

Podsumowując, cel pracy został osiągnięty. Skonfigurowane nowe stanowisko zostało wykorzystane do przeprowadzenia procesów utleniania chemicznego podłoża GaAs. Analizując uzyskane wyniki można stwierdzić, że dzięki zastosowaniu tej metody obserwowany jest wzrost nowej warstwy tlenkowej. Niezbędne jest jednak prowadzenie dalszych badań nad tym procesem, w celu jego zoptymalizowania. Uzyskane wyniki nie pozostaną bez znaczenia dla badań nad nowymi warstwami na potrzeby produkcji przyrządów półprzewodnikowych.

## Literatura

- [1] H. Wang, C. Huang, Y. Wang, M. Houng, *Liquid Phase Chemical-Enhanced Oxidation for GaAs Operated Near Room Temperature*, Japanese Journal of Applied Physics. Vol. 37, 1998.
- [2] S. K. Ghandhi: *VLSI Fabrication Principles: Silicon and Gallium Arsenide*, John Wiley & Sons Inc., New York, 1994.
- [3] R. B. Beck: *Technologia krzemowa*, PWN, Warszawa, 1991.
- [4] J. Adamczewska: *Procesy technologiczne w elektronice półprzewodnikowej: praca zbiorowa*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1980.

**Katarzyna BARAN**

IEEE Lublin Student Branch

## **MOBILNA TERMOGRAFIA W MONITOROWANIU ZDROWIA**

### **1. Wstęp**

Przełomowym momentem dla termografii (zwanej też termowizją) było odkrycie promieniowania podczerwonego, którego dokonał Sir Friedrich Wiliam Herschel w 1800 roku [1], [2]. W starożytności zauważono, że obiekty mogą mieć nietypowy rozkład temperatury co może stanowić podstawę do działań diagnostycznych. Słynny Hipokrates twierdził, że: *„jeżeli jedna część ciała ludzkiego jest cieplejsza lub zimniejsza niż reszta, to jest ona dotknięta chorobą”* [3]. Starożytna ludność zauważyła podwyższenie temperatury ciała w okolicach ran, stanów zapalnych czy miejsca odczuwania bólu. Okładanie ciała gliną i obserwacja barwy podczas wysychania pozwalała Grekom na poznanie obszarów cieplejszych [4]. Obecnie, w XXI wieku, podstawowym narzędziem termografii jest sprzęt techniczny – kamery termowizyjne. Rzadko używaną metodą termograficzną jest technika ciekłokrystaliczna termografii kontaktowej.

Wiele definicji termografii [1]–[6] zgodnie określa ją jako proces rejestracji, przetwarzania i obrazowania promieniowania podczerwonego, niewidocznego gołym okiem a odczuwanego jako ciepło. Celem jest uzyskanie danych, informacji dotyczących rozkładu temperatury na powierzchni badanego obiektu lub zbioru obiektów tworzących scenę. Zasadę działania oraz cechy szczególne przedstawiono w rozdziale 2.

Zdalnie działające kamery termowizyjne pozwalają na ich implementację w wiele obszarów życia. Komputerowa analiza rozkładu temperatury na powierzchni badanego obiektu może stanowić wspomaganie diagnostyki potencjalnych problemów. Obecnie można zauważyć trend interdyscyplinarnego przenikania się dziedzin i korzystania z technologii informatycznych. Najsilniej widoczne jest wykorzystywanie nowych technologii w medycynie, rolnictwie i przemyśle. Warto podkreślić, że badania termowizyjne są nieinwazyjne i całkowicie bezpieczne dla badanych.

W niniejszym artykule skupiono się na przedstawieniu podstaw termografii, przeglądzie badań naukowych wykorzystujących termografię oraz prezentacji badań testowych pokazujących wykorzystanie termografii dla monitorowania zdrowia – psychicznego i fizycznego. Ze względu na zmiany w życiu społecznym, wywołane koronawirusem SARS-CoV-2, istotne staje się

monitorowanie własnego zdrowia przy użyciu niskobudżetowych i łatwych w użyciu narzędzi informatycznych.

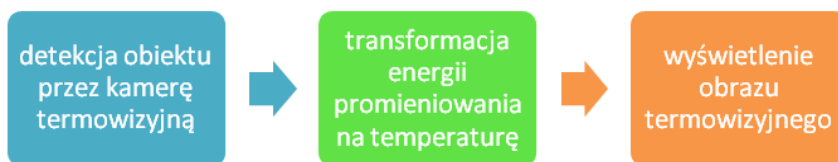
## 2. Podstawy teoretyczne termografii

Podstawą termowizji są dwa etapy: pierwszy – obserwacja i zapis rozkładu fal promieniowania podczerwonego (cieplne/długofalowe), emitowanych przez ciało, którego temperatura jest większa od zera bezwzględnego; drugi – przekształcenie promieniowania na obraz widzialny danego obiektu. Rozkład temperatury na przebadanej powierzchni jest przedstawiany w postaci obrazu termalnego – termogramu. Termogram jako odzwierciedlenie 2D rozkładu temperatury w różnych punktach badanego obiektu, pokazuje szereg barw – od jasnożółtego do ciemnognatowego co odpowiada wysokim i niskim temperaturom.

Odnosnie do obrazowania termograficznego, które wykorzystuje transmisję energii, warto zauważyć że transmisja ta odbywa się wyłącznie na drodze promieniowania. Wymiana energii cieplnej może obejmować trzy różne zjawiska: termodyfuzję (przewodzenie cieplne), promieniowanie lub konwekcję (unoszenie). Zdolność emisyjną  $\varepsilon(\lambda, T)$  określił Max Planck [7]. Wzór (1) przedstawia zdolność emisyjną. Dla przedziału temperatur 25-42°C, maksimum promieniowania przypada dla długości fal z przedziału 9,2-9,7μm.

$$\varepsilon(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5 * (e^{-c_2 * \lambda * T} - 1)} \quad (1)$$

Rysunek 1 przedstawia ogólną zasadę działania termografii. Analizowany obiekt jest mierzony za pomocą kamery termowizyjnej. Po zapisaniu rozkładu temperatury na powierzchni obiektu, wyświetlany jest cyfrowy obraz zawierający informacje temperaturowe. Wprowadzenie obrazów do komputerowych programów diagnostycznych pozwala na szybkie uzyskanie raportu.



Rys. 1. Ogólna zasada działania termografii

Warto zauważyć, że do kamery termowizyjnej dociera nie tylko promieniowanie pochodzące z obiektu ale również z otoczenia oraz atmosfery. Dlatego tak ważne jest sprawdzenie przez pomiarem termowizyjnym choćby

specyfikacji kamery i jej możliwości pracy w zakresie danych temperatur. Część z nich może mieć ograniczony zakres temperaturowy co przy przekroczeniu granicy (dolnej lub górnej) może powodować błędy odczytu.

Termografia jest różnie klasyfikowana [8]–[10], jednak najczęściej klasyfikuje się ją ze względu na temperaturę badanego obiektu oraz potrzebę dostarczania ciepła z zewnątrz – termografia aktywna, termografia pasywna. Do termografii aktywnej zalicza się: termografię impulsywną, modulacyjną oraz impulsowo-fazową.

### **3. Zastosowanie termografii**

Termografia znalazła zastosowanie w wielu dziedzinach techniki i życia codziennego. Poniżej przykładowe zastosowania [3], [4], [8], [10]–[12]:

- w przemyśle – kontrola procesów technologicznych oraz stopnia zużycia maszyn.
- w medycynie – ocena stanu układów: mięśniowego, kostnego, stawowego. Monitorowanie zmian fizjologicznych wybranych obszarów ciała. Wspomaganie wykrywania i analizy procesów fizjologicznych i metabolicznych. W Polsce propagowana głównie przez dr n. med. Adama R. Kwiecińskiego [12].
- w elektronice i elektrotechnice – ocena stanu obciążenia przewodów, symetryczności obciążenia w układach wielofazowych.
- w energetyce – badanie linii przemysłowych wysokiego napięcia oraz izolatorów ceramicznych, kontrole rozdzielni elektrycznych, turbin generatorów.
- w wojskowości – systemy naprowadzania rakiet średniego i dalekiego zasięgu, fotografowanie z lotu, sprzęty wojskowe do badania terenu.
- w budownictwie – badanie szczelności izolacji budynków, wykrywanie wad montażowych, np. ogrzewania podłogowego, niedrożności instalacji grzewczej.
- w policji – badanie śladów (kryminalistyka), analiza mowy, emocji i prawdziwości człowieka.
- w mechanice – diagnostyka urządzeń mechanicznych, obwodów elektrycznych.



#### 4. Przegląd literatury – wykorzystanie termografii w świecie nauki

Głównym zadaniem badań wykorzystujących mobilną termografię jest uzyskanie informacji o parametrach temperaturowych człowieka pozwalających na dalszą analizę. Badacze [13]–[17] stosowali ją jako metodą wspomagającą diagnostykę. Poniżej wybrane badania.

T. Kanazawa i inni [13] zajmowali się badaniami weryfikującymi niezawodność tomografii mobilnej Flir One przy ocenie stanu zapalnego wśród osób z odleżynami i stopą cukrzycową. Badania wśród ośmiu pacjentów pozwoliły na uzyskanie szesnastu obrazów termicznych i określenie wiarygodności na 95% przedziale ufności. Badacze określili Flir One jako alternatywne urządzenie do oceny subklinicznej stanu zapalnego.

G.G. Hallock [14] wykorzystał termografię na smartfonie do zidentyfikowania preferowanych perforatorów lub gorących punktów sieci naczyniowej przy operacjach tak aby zapewnić perfuzję kłapie perforatora (perforator – naczynie żyłne). Połączenie dynamicznej termografii smartfonowej oraz tematu przenoszenia tkanek mikronaczyniowych okazało się słuszne, gdyż zapewniało szybką identyfikację gorących punktów korelującymi z perforatorami.

W pracy [15] F. Theuma i inni, zbadali problem ostrego niedokrwienia kończyny dolnej z zastosowaniem kamery termograficznej do smartfona. Badaną była 84-letnia kobieta z wspomnianym problemem. Zdjęcia termograficzne były środkiem wspomagającym diagnozę w trakcie zabiegów na sali operacyjnej. Badanie wykazało duży potencjał sprzętu termowizji mobilnej.

Ciekawe podejście badawcze i wyniki zaprezentował zespół E. Xue w [16]. Badacze wykorzystali tomografię smartfonową do oceny oparzeń. Pięć ostrych oparzeń III stopnia oceniono dzięki angiografii ICG i obrazowaniu Flir One w celu zbadania zasięgu oparzenia przed zabiegiem chirurgicznym. W Flir One wyznaczono nieuleczalne tkanki (obszar), który ściśle odpowiadał obszarowi wyznaczonemu przez ICG. Co prawda Flir One zawyżał marginesy tkanki o 1–2 cm, jednak dalsze analiza może poprawiać szacowanie.

Mobilna termografia została użyta również przez Y. Cho i innych w [17]. Zaproponowali oni nowatorskie podejście do śledzenia oddechu (cykli wdychania i wydychania) wraz z kompensacją negatywnych skutków zmian temperatury otoczenia oraz artefaktów ruchu. W badaniach skupili się na: optymalnej kwantyzacji techniki mapowania, określeniu metody termicznego gradientu przepływu (obliczanie mapy jasności), wprowadzenie metody Thermal Voxel dla przechwycenia sygnałów oddechowych.

## **5. Monitorowanie zdrowia fizycznego i psychicznego – badanie termowizyjne**

W XXI wieku świadomość konieczności dbania o zdrowie fizyczne i psychiczne jest całkiem wysoka. Wzmożony rozwój chorób nowotworowych, otyłość wśród młodzieży czy ograniczona lub brak ruchowości to impulsy do zmian w dbaniu o swoje zdrowie. Zdrowie psychiczne i fizyczne nabiera większego znaczenia, zwłaszcza w kontekście obecnie panującej pandemii koronawirusa (2020 r.). Ograniczenia w życiu społecznym mają duży wpływ na naturę psychiczną i fizyczną człowieka jednak nowoczesne technologie mogą ułatwić zachowanie aktywności i kontrolowanie zdrowia. Dlatego autor postanowił przetestować możliwość monitorowania swego zdrowia (psychicznego i fizycznego) za pomocą kamery termowizyjnej.

### **5.1. Cel badania**

Celem badania jest monitorowanie zdrowia fizycznego i psychicznego w zaciszu domowym z wykorzystaniem nowoczesnych technologii informatycznych – smartfonowej kamery termowizyjnej Flir One Pro oraz bardzo popularnej inteligentnej opaski smartband.

### **5.2. Problemowe kwestie zdrowotne**

W badaniu testowym skupiono się na dwóch problemach zdrowotnych. Pierwszym z nich jest problem natury fizycznej – zimne stopy osoby badanej (słabe ukrwienie kończyn dolnych lub zmarznięcie), odczuwanie zimna mimo ciepłej pogody lub wyższej temperatury w pomieszczeniu. Drugi problem dotyczy natury psychicznej – duży stres osoby badanej wywołany nadmiarem problemów prywatnych i sytuacjami stresowymi w życiu codziennym.

Warto zauważyć, że problem stresu jest aktualnie bardzo ogromny i powiększa się wraz z kolejnymi zmianami społecznymi i gospodarczymi na świecie. Stres zwiększany jest nie tylko przez prywatne sytuacje stresowe ale również kwestie społeczne. Obecnie potęgowany jest wśród ludności w wyniku pandemii SARS-CoV-2 (2020) i społecznej izolacji.

### **5.3. Grupa badawcza**

W badaniu dotyczącym problemów natury fizycznej tj. uczucie zimnych stóp, brało udział 5 osób w przedziale wieku 25–64 (trzy kobiety, dwaj mężczyźni).

W badaniu dotyczącym problemów natury psychicznej tj. duży stres związany ze stresującymi sytuacjami w pracy i życiu prywatnym, udział wzięło 5 osób w przedziale wieku 28–53.

Zarówno badani pierwszej i drugiej części badania nie wykazywały żadnych chorób przewlekłych i dysfunkcji, np. ruchowych. Udział w badaniu był dobrowolny poprzedzony wcześniej krótką rozmową informującą o przebiegu badania.

#### **5.4. Procedura badawcza**

Obie części badań były realizowane w następującej kolejności – krótki wywiad z osobą badaną, pomiar twarzy/stóp kamerą termowizyjną oraz pomiar parametrów fizjologicznych opaską inteligentną, przesłanie obrazu termowizyjnego do programu raportowego firmy Flir (program Flir Tools), porównanie otrzymanych obrazów z prawidłowymi wzorcami zdrowego człowieka (ze zdjęciami termowizyjnymi osób zdrowych). Badanie przeprowadzano dwukrotnie w odstępach dwóch tygodni dla porównania zmian.

#### **5.5. Narzędzia badawcze**

Podstawowym narzędziem badawczym wykorzystywanym w badaniu była kamera termowizyjna w wersji mobilnej (smartfonowej) – Flir One Pro (Rys. 2). Parametry techniczne tej kamery są przedstawione w tabeli 1.



Rys. 2. Mobilna kamera termowizyjna (Flir One Pro)

Tabela 1. Specyfikacja techniczna kamery termowizyjnej (Flir One Pro)

Dane	Opis
Temperatura podczas pracy	0°C–35°C
Temperatura składowania	-20°C–60°C
Wymiary	68×34×14 mm, waga: 36,5 g
Detektor termowizyjny	Rozmiar piksela 12 μm / Zakres widmowy 8-14 μm
Rozdzielczość obrazu termowizyjnego	160×120
Rozdzielczość obrazu widzialnego	1440×1080
Częstotliwość klatek	8,7 Hz
Czułość termiczna	150 mK
Ostrość obrazu	Stała 15 cm – nieskończoność
Wyświetlanie, rejestrowanie zdjęć	Zapis w rozdzielczości 1440×1080
Formaty plików	Zdjęcia – pomiarowy JPG Wideo – MPEG4, MP4
Palety	Szara, Najgorętsza, Najzimniejsza, Żelazo, Tęcza, Kontrast, Arktyczna, Lawa, Koło

Narzędziem wspomagającym kontrolowanie parametrów fizjologicznych takich jak tętno, ciśnienie, była inteligentna opaska – smartband fitness (Rys. 3), której specyfikację techniczną przedstawiono w tabeli 2.



Rys. 3. Opaska inteligentna (smar band fitness S-FIT18)

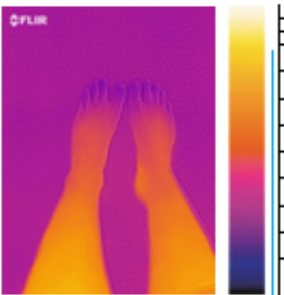
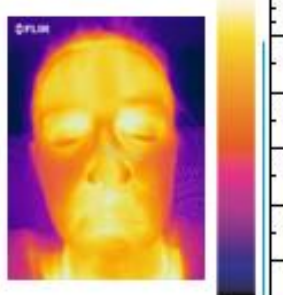
Tabela 2. Specyfikacja techniczna inteligentnej opaski (smartband fitness S-FIT 18)

Dane	Opis
Model	S-FIT 18
Wymiary	240×20×10mm, waga: 20g
Rozdzielczość	80×160
Bluetooth	4.0 (do 10m)
Wymagania	Android 4.0 lub Ios 8.0
Sensor	Key metod, triaxial acceleration sensor
Opcje	pulsoksymetr, ciśnieniomierz, licznik kalorii, pomiar tętna, pomiar kroków, monitoring snu

### 5.7. Wyniki badań

W tabeli 3 przedstawiono wyniki badań dla dwóch wybranych osób – jednej z problem zimnych stóp, drugiej – z problemem stresu.

Tabela 3. Wyniki badań dla dwóch osób: a) z problemem zimnych stóp b) z problemem stresu

a)	Obraz / Uwagi	b)	Obraz / Uwagi
Sesja 1	 <p>Zauważalna niższa temp. w obszarze głównie palców i części przedniej stopy. Analizowany tylko obszar stóp. Ciśnienie: 90/60 Tętno: 85/min</p>	Sesja 1	 <p>Zauważalna wyższa temp. w obszarze okolicy oczu, czoła i ust (nerwowe zaciśnięcie szczęki). Ciśnienie: 136/90 Tętno: 97/min</p>

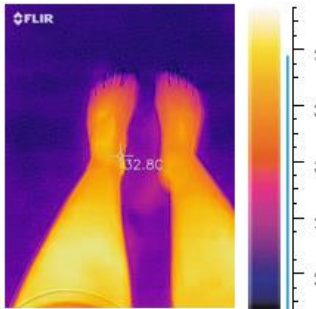
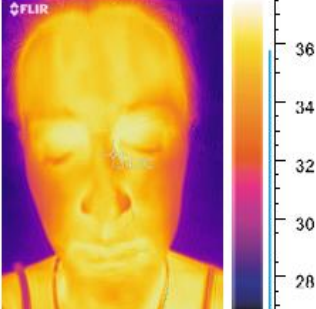
	<p>Emisyjność: 0,98            Odległość (kamera-obiekt): 50cm            Temperatura powietrza: 21,9°C            Wilgotność: 0,60            Obszary wyłącznie stop:            Min: 27,3°C            Max: 33,1°C            Avg: 30,2°C            Znacznik: wartość temp.</p>		<p>Emisyjność: 0,98            Odległość (kamera-obiekt): 30cm            Temperatura powietrza: 21,3°C            Wilgotność: 0,58            Obszar wyłącznie całej twarzy:            Min: 31,2°C            Max: 36,8°C            Avg: 34°C            Znacznik: wartość temp.</p>
Sesja 2	 <p>Zauważalna poprawa ukrwienia –            symetryczność rozkładów temp.            Ciśnienie: 117/82            Tętno: 77/min</p>	Sesja 2	 <p>Zauważalna poprawa –            symetryczność rozkładu temp.            Ciśnienie: 125/86            Tętno: 76/min</p>
	<p>Emisyjność: 0,98            Odległość (kamera-obiekt): 50cm            Temperatura powietrza: 21,2°C            Wilgotność: 0,60            Obszary wyłącznie stóp:            Min: 31,7°C            Max: 35,6°C            Avg: 33,6°C            Znacznik: wartość temp.</p>		<p>Emisyjność: 0,98            Odległość (kamera-obiekt): 30cm            Temperatura powietrza: 21,5°C            Wilgotność: 0,60            Obszar wyłącznie całej twarzy:            Min: 33,2°C            Max: 36,5°C            Avg: 34,8°C            Znacznik: wartość temp.</p>

Tabela 4 prezentuje uśrednione wyniki pomiarowe wszystkich badanych osób dla obu badań przeprowadzonych w sesji dwukrotnej (dwutygodniowy okres przerwy między badaniami). Przedziały temperatur odnoszą się do średniej wartości uzyskanej z analizy wszystkich minimalnych i maksymalnych temperatur z obrazów termowizyjnych osób badanych w pierwszej i drugiej części badania. Warto podkreślić, że wszelkie wnioski były wyciągane na podstawie porównywania uzyskanych danych względem danych wzorcowych zdrowego i zrelaksowanego człowieka.

Tabela 4. Wyniki badań dla dwóch osób a) z problemem zimnych stóp b) z problemem stresu

a)	Sesja 1		Sesja 2	
5 badanych	Ciśnienie i tętno	Przedział temp.	Ciśnienie i tętno	Przedział temp.
Uśredniony wynik	97/60 i 67/min	29,6°C – 32,1°C	114/80 i 79/min	31,9°C – 35,9°C
b)	Sesja 1		Sesja 2	
5 badanych	Ciśnienie i tętno	Przedział temp.	Ciśnienie i tętno	Przedział temp.
Uśredniony wynik	139/89 i 95/min	32,1°C – 36,4°C	124/84 i 86/min	31,5°C – 35,8°C

Analizując tabele 3 i 4 można zauważyć, że wśród badanych nastąpiły zmiany psychofizjologiczne w sesji 2. Spowodowane jest to tym, że podczas sesji 1 część badanych uświadomiło sobie wagę problemu i postanowiło zadbać o siebie. W wyniku rozmów po zakończeniu badań, 2 osoby wskazały, że mierzą się dalej z problemem ciągłego stresu w pracy lub niedokrwieniem stóp. Problemy te skłoniły je do konsultacji lekarskiej. 4 z 5 osób z problemem zimnych stóp wskazywały również, że problem zmniejszył się po zwiększeniu aktywności fizycznej. W przypadku osób zestresowanych, dwa tygodnie przerwy w badaniu odpowiadały czasowi zminimalizowania stresu.

Patrząc na tabelę 4, widoczna jest korelacja między tętnem, ciśnieniem a stanem fizycznym/psychicznym badanego. U osób z nadmiernym stresem parametry fizjologiczne są dość wysokie, ponad standardowe normy. U osób z niedokrwieniem stóp, występuje niższe ciśnienie i temperatura ciała ale większe tętno (celem pobudzenia krążenia). W sesji 2 parametry uległy zmianie w większości przypadków. Część badanych w dwu-tygodniowej przerwie podejmowało większą aktywność fizyczną lub relaks celem złagodzenia problemów co przekłada się na uzyskanie lepszych wyników w sesji 2 (bardziej zbliżonych do prawidłowych norm). Analizując obrazy termiczne z tabeli 3, można zauważyć, że zmieniły się rozkłady temperatur i w sesji 2 były one bliższe obrazom termicznym zdrowego człowieka (obrazy termiczne porównywano w oprogramowaniu Flir Tools).

Warto podkreślić, że w ramach przeprowadzonych badań nie podjęto procesu leczenia. Celem było jedynie zastosowanie narzędzi technologicznych w monitorowaniu zdrowia i sprawdzenie ich przydatności.

## 6. Wnioski końcowe

Samokontrola i dbanie o swoje zdrowie to priorytetowa sprawa ludzkości. Żyjąc w technologicznej cywilizacji za kluczowe uznaje się powszechne korzystanie z dobrodziejstw techniki, zwłaszcza termografii. Zaprezentowane w rozdziale 4 badania wskazały, że warto stosować mobilną termografię dla monitorowania swojego zdrowia – psychicznego i fizycznego. Ponadto pozwoliły na zauważenie następujących kwestii:

- W termografii ludzkiego ciała, różnice temperatur pojawiają się tam, gdzie występują zmiany ukrwienia. Może to świadczyć o niedokrwieniu lub przekrwieniu tkanek i ostatecznie sugerować stan zapalny. Analizując temperaturę powierzchni ciała należy mieć na uwadze aktywność układu naczyniowego.
- Zdrowe narządy cechują się symetrycznym obrazem termowizyjnym. Asymetria to podstawa to dalszej diagnozy i traktowanie jako objaw choroby.
- Dla celów monitorowania zdrowia, najlepiej używać kamery termowizyjne różnicujące temperaturę w okolicy 36°C.
- Mapy termowizyjne mogą rejestrować różnice temperatury nawet na poziomie ułamka stopnia, co jest ważne przy wykrywaniu pozornie niewidocznych zmian w ciele.
- Termografia mobilna może wspomagać samodzielne monitorowanie stanu zdrowia – psychicznego i fizycznego poprzez obrazy termiczne i ich komputerowe porównywanie.

## Literatura

- [1] Ring EFJ., *The historical development of temperature measurement in medicine*, *Infrared Phys Technol.*, 2007, s. 297–301.
- [2] Kirimat A., Krejcar O., Selamat A., Herrera-Viedma E., *Flir One vs Seek thermal cameras in biomedicine comparative diagnosis through infrared thermography*, *BMC Bioinformatics* 21, 88/2020.
- [3] Tadeusiewicz R., *Wnętrze człowieka bez tajemnic*, *Vivat Akademia* nr 18, 2018, s. 67–69.
- [4] Dąbrowska R., *Zastosowanie kamery termowizyjnej jako uzupełnienie psychofizjologicznych badań poligraficznych – możliwości czy daleka przyszłość?*, *Przegląd bezpieczeństwa wewnętrznego* 7/12, s. 117–122.
- [5] Ekicic S., Jawzal H., *Breast cancer diagnosis using thermography and convolutional neural networks*, *Medical Hypothesis*, vol. 137, 2020.



- [6] Minkina W., *Theoretical basics of radiant heat transfer-practical examples of calculation for the infrared (IR) used in infrared thermography measurement*, Journal of Quantitative Infrared Thermography, 2020, s. 1–14.
- [7] Ivanov A.P., *Correction of the temperature of biological objects in thermographic methods*, Journal of Applied Spectroscopy, vol. 86/2019, s. 120–129.
- [8] Oliferuk W., *Termografia aktywna w badaniach materiałów*, Materiały konferencyjne 12 seminarium nieniszczących badań materiałów, Zakopane, 2006, s. 10–25.
- [9] Castanedo C.I., *Quantitative subsurface defect evaluation of pulsed phase thermography: depth retrieval with the phase*, Quebec, 2005, s. 6–27.
- [10] Wu D., Busse G., *Lock-in thermography for nondestructive evaluation of material*, Paris Elsevier, 1998, s. 693–703.
- [11] Kolečki H., *Kryminalistyczne zastosowanie termografii*, PWN, Warszawa, 1979, s. 30–31.
- [12] Oxetic Medical System, [www.oxetic.pl](http://www.oxetic.pl), 21.02.2020.
- [13] Kanazawa T., Nakagami G., Goto T., Noguchi H., Oe. M., Miyagaki T., Hayashi A., Sasaki S., Sanada H., *Use of smartphone attached mobile thermography assessing subclinical inflammation: a pilot study*, Journal of Wound Care, vol. 25/4, 2016.
- [14] Hallock G.G., *Dynamic infrared thermography and smartphone thermal imaging as an adjunct for preoperative, intraoperative and postoperative perforator free flap monitoring*, Plast Aesthet Res 2019, s. 6–29.
- [15] Theuma F., Gassar K., *The use of smartphone-attached thermography camera in diagnosis of acute lower limb ischemia*, Journal of Vascular Surgery, vol. 80/4, 2018, s. 1297–1297.
- [16] Xue E., Chandler L.K., Viviano S., Keith J., *Use of Flir One smartphone thermography in burn wound assessment*, Annals of Plastic Surgery, vol. 80, Issue 4, 2018, s. 236–238.
- [17] Cho Y., Julier S., Marquardt N., Bianchi-Berthouze N., *Robust tracking of respiratory rate in high-dynamic range scenes using mobile thermal imaging*, Biomedical Optics Express, vol. 8, No. 10, 2017, s. 4480–4503.

**Karol BUCZEK<sup>(1)</sup>, Klaudia NOWAK<sup>(1)</sup>, Agnieszka DUDZIAK<sup>(2)</sup>**

<sup>(1)</sup>Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Studenckie Koło Naukowe Zarządzania i Ekonomii, kierunek Zarządzanie i Inżynieria Produkcji

<sup>(2)</sup>Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Zakład Logistyki i Zarządzania Przedsiębiorstwem, Katedra Energetyki i Środków Transportu, ORCID: 0000-0002-4884-5403.

## **LEAN MANAGEMENT ELEMENTEM ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU W ZARZĄDZANIU PRZEDSIĘBIORSTWEM**

### **1. Wprowadzenie**

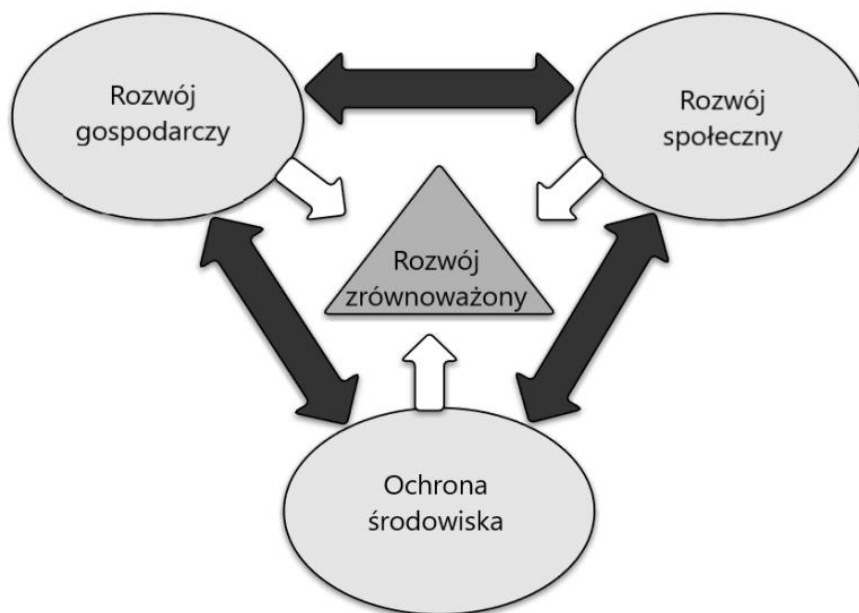
Przebieg procesu produkcyjnego jest niezwykle złożonym zjawiskiem. Nie od dziś wiadomo, że tylko niezawodność wszystkich jego składników przyczyni się do założonego poziomu spełnienia kryteriów. Rewolucja przemysłowa z XVIII wieku daje obraz tego, jak wiele zmian przynosi nieustanne doskonalenie otoczenia około produkcyjnego [1]. W tamtym czasie najbardziej pożądanymi wskaźnikami była szybkość produkcji, cena oraz niezawodność technologii. Stałe doskonalenie tych trzech cech przestało być znaczące w momencie zrozumienia, jak ważną częścią otoczenia cyklu wytwórczego jest środowisko. Wpływ ludzkości na przyrodę, poprzez swoje szerokie działania, w tym sztuczne napędzanie konsumpcjonizmu wpłynęło na zwrócenie uwagi na degradację otoczenia naturalnego. W dzisiejszych czasach niedopuszczalnym jest pominięcie tak ważnego aspektu z uwagi na fakt malejącej tendencji do samoodnowienia.

Jedną z pozytywnych wzmianek coraz szersze wprowadzanie dbałości o środowisko do polityki i wizji przedsiębiorstw a sam rynek wymusza na zarówno na producentach, jak i konsumentach ograniczenie szkodliwości we wszystkich działaniach, jakie podejmują. Dlatego tak ważne jest odnalezienie właściwych środków oraz podjęcie stanowczych kroków, by spełnić kolejne z wymagań, jakim jest ochrona środowiska.

### **2. Koncepcja zrównoważonego rozwoju**

Znaczącymi oznakami podjęcia tematu środowiska w sektorze produkcyjnym są teksty artykułów Raportów z Brundtland w 1987 roku. Definicja zrównoważonego rozwoju sformułowana w Raporcie Światowej Komisji Środowiska i Rozwoju stanowiła podstawę do zgłębiania oraz szerzenia

wiedzy na temat negatywnych skutków, oraz korygowania ich z zakresu ochrony środowiska. Główna treść tej zasady to „rozwój odpowiadający potrzebom dnia dzisiejszego, który nie ogranicza zdolności przyszłych pokoleń do zaspokajania własnych potrzeb” [4]. Z czasem jej formuła została uszczegółowiona, lecz istota pozostaje niezmienna z uwagi na uniwersalność oraz niezmiennność.



Rys. 1. Obszary zrównoważonego rozwoju [4]

Obowiązkiem każdego człowieka jest ograniczenie wszystkich negatywnych działań mających wpływ na jego otoczenie. Dopiero od niedawna jesteśmy świadomi zagrożeń dla przyrody oraz trudności, z jakimi mogą zmagać się przyszłe pokolenia, dlatego powinniśmy wdrażać i stosować się do wszystkich do poważnych zmian w stylu życia czy sposobie funkcjonowania. Nieodłącznym elementem naszego życia jest praca. Wszystkie procesy wytwórcze i usługowe stanowią dużą część oddziaływania na środowisko. Ze względu na to tak ważne jest skupienie się na wdrażaniu zasady zrównoważonego rozwoju właśnie w organizacjach, firmach i przedsiębiorstwach. Dalsza ewolucja tej zasady doprowadziła do połączenia trzech stref powiązanych z produkcją i konsumpcją dóbr, które są od siebie zależne. Takie zestawienie pozwoliło na powiązanie ze sobą składników niezbędnych do zrównoważonego rozwoju o długotrwałym zasięgu czasowym.

Wyodrębnione części tej koncepcji to:

- Strefa ekonomiczna, osadzona w dotychczasowym funkcjonowaniu rynku – długookresowy wzrost gospodarczy, sprostanie wymogom jakościowym i ilościowym.
- Strefa ekologiczna, jako stała edukacja i poszerzanie działań mających na celu ochronę środowiska i zasobów naturalnych w trosce o nieskończoną możliwość ich eksploatacji, podtrzymanie zdolności do samo odnawiania.
- Strefa społeczna powiązana z aspektami życia ludzkiego – dostęp do żywności, edukacji, pracy, opieki zdrowotnej oraz zasobów naturalnych.

### 3. Lean management w przedsiębiorstwie

Koncepcja Lean management jest efektywną metodą osadzoną bezpośrednio na szczeblu kierowniczym oraz pośrednio na wszystkich podmiotach zaangażowanych w produkcję lub realizację usługi. Jednym z pierwszych przykładów wprowadzania takich zmian jest zbiór operacji usprawniających oraz optymalizujących działania wytwórcze oparty m.in. o system Henrego Forda realizowany w fabrykach Toyoty. Toyota Production System jako zespół podejmowanych decyzji uszczuplił wiele zbędnych operacji na wszystkich etapach produkowanych dóbr oraz uwydatnił, jak ważne jest ciągłe szkolenie i rozwój kadry czy doskonalenie poszczególnych technologii i operacji [1]. W efekcie wprowadzania regularnych zmian wyniki produkcyjne wzrosły, w porównaniu do stanów poprzednich a czynnik stałego modernizowania i usprawniania na stałe wpisał się w działanie firmy Toyoty.

Tabela 1. Zestawienie cech lean management i zarządzania tradycyjnego [3]

Obszar	Tradycyjne podejście	Podejście lean management
Organizacja	wąska struktura organizacyjna	płaska struktura organizacyjna
Kierowanie	perswazja, nakazy	wspólne dążenie do celu
Magazynowanie	duże zapasy	ograniczenie zapasów
Informacja	ograniczona	duży dostęp dla niższego szczebla
Rozwój produktu	bez wpływu klienta	zgodny z oczekiwaniami klienta
Wielkość produkcji	nadprodukcja	dopasowana do zapotrzebowania
Klient	uzależniony od producentów	dostosowanie producenta

Dzisiejsze zmiany podejmowane w celach ekonomicznych czy środowiskowych bazują na modelach z przeszłości. Istotą jest produkowanie w sposób zorganizowany- zużywając mniej czasu, przestrzeni, zasobów i nakładów ludzkich oraz stałe doskonalenie sposobu wykorzystywania tych składników a wszystko to w trosce o osiągnięcie najwyższego poziomu zaspokajania potrzeb klientów [7].

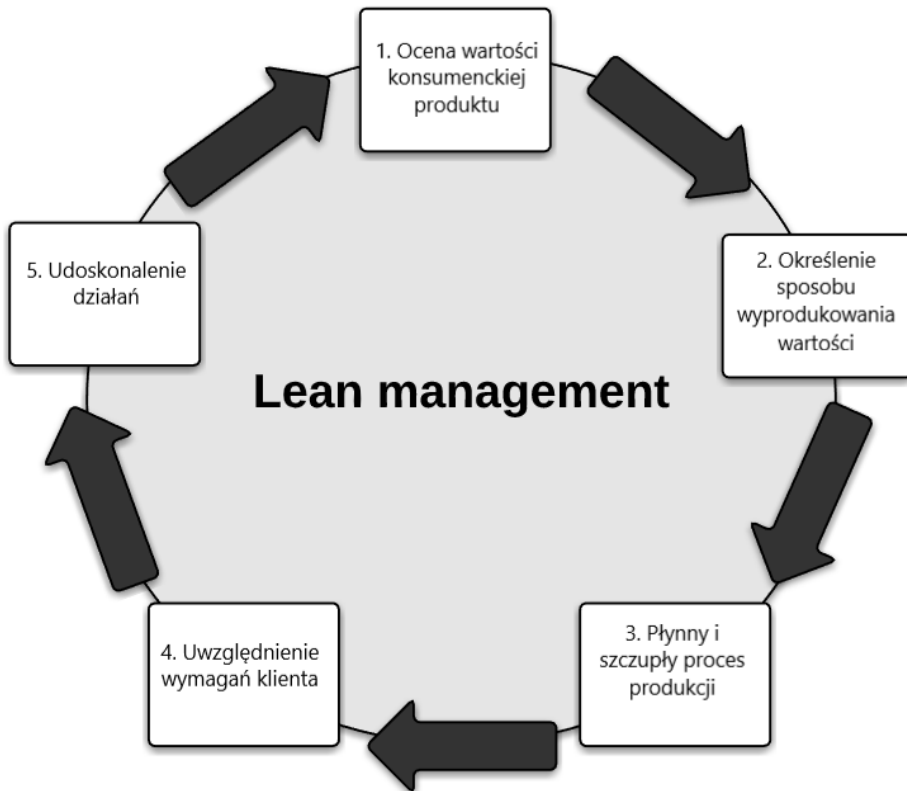
### **3.1. Założenia instrumentu szczupłego zarządzania**

Wdrażanie metod Lean management w przedsiębiorstwach wiąże się z licznymi zmianami we wszystkich składnikach procesu produkcyjnego, docierając do najniższych szczebli struktury pracowniczej. Zmiany muszą mieć charakter całościowy, gdyż każda z technik usprawnienia dotyczy nawet najprostszych działań podejmowanych przez pracowników. Spodziewane efekty stosowania szczupłego zarządzania w sferze ekonomicznej przedsiębiorstwa są naturalnym i najstarszym z celów wytwarzania. Minimalizacja kosztów oraz podnoszenie jakości produkowanych dóbr przyświeca każdemu przedsiębiorstwu, które chce zachować konkurencyjność na rynku. Ostatnie zmiany na rynkach produkcji oraz zwiększenie stopnia dostrzegania zmian klimatycznych wymusza na producentach działania proekologiczne, stają się one niezbędne do dalszego rozwoju. Dlatego coraz ważniejszym celem strategicznym jest wprowadzanie takich zmian, które pozwolą na najmniejszy stopień degradacji środowiska. Obszar technik ograniczania szkodliwości jest stale rozwijany, nowe technologie pozwalają na stały wzrost ich skuteczności.

Zasada działania tradycyjnego zarządzania to sprowadzenie procesu produkcyjnego do schematu, od pozyskania materiału przez tworzenie dobra po jego dystrybucję. Na taką drogę ma wpływ wiele czynników zewnętrznych, a za czas jej przebiegu są odpowiedzialne zdarzenia losowe bądź uwarunkowania zachodzących procesów. By odnaleźć wszystkie negatywnie oddziałujące elementy, można wykorzystać schemat postępowania metody lean.

Początkowym krokiem jest skupienie na wartości konsumenckiej wytwarzanego produktu, jest to istota skłaniająca do nabycia oraz konsumpcji. Poznanie roli, jaką odgrywa towar, pozwala na określenie, jakie kroki produkcyjne należy podjąć, aby otrzymać dobro finalne. Jest to bardzo ważne, gdyż na tym etapie można odnaleźć oznaki marnotrawstwa lub wadliwość procesów wytwórczych. Pozwoli to na wprowadzenie usprawnień, eliminację zakłóceń i w efekcie skuteczny przepływ wartości. Przedostatnią częścią jest bezpośrednio odczytanie potrzeby klienta realizowane przez kontakt w trosce o wymagany poziom spełnienia oczekiwań jakościowych i ilościowych. Ostatecznie wymagane jest wprowadzenie idei ciągłego doskonalenia oraz monitorowania stopnia poprawy względem stanu początkowego [1]. Podejmowanie takich czynności cyklicznie wprowadza efekt rozwoju

produkcyjnego oraz pozwala na sprostanie konkurencji rynkowej, oraz sprostanie zmiennym wymaganiom klientów. Nie mniej ważnym wynikiem jest też ograniczenie negatywnego aspektu nadprodukcji, zbędnych operacji pochłaniających zasoby czy generowanie zbędnych obiektów takich jak odpady.



Rys. 2. Schemat szczupłego procesu produkcji [2]

### 3.2. Marnotrawstwo w technikach lean

Marnotrawstwo jest kojarzone z konsumentami, może występować jako zbędna rozrzutność lub być efektem konsumpcjonizmu. W wyniku marnotrawienia dana część produktu pozostaje niewykorzystana, co wiąże się ze stratami. Zmiana takiego stanu staje się niezwykle ważna w kontekście ochrony środowiska, gdzie każdy człowiek jest zobligowany do wykorzystywania przedmiotów życia codziennego w sposób całkowity. Przykładów może być bardzo dużo żywność, energia czy woda. Przedsiębiorstwa produkcyjne również podlegają temu problemowi. W odniesieniu do pojedynczych konsumentów skala działania firm jest nieporównywalnie większa, dlatego z problem

marnotrawienia walczą wszystkie organizacje produkcyjne. Od strony zarządzania termin ten jest tak bardzo znaczący, gdyż odnosi się on do zbędnych kosztów i straconego czasu przy produkowaniu. Ma to znaczenie na wolnym rynku konsumenta, który nie jest skłonny płacić za zadziałania nieprzynoszące wartości dla produktu [5].

### **3.3. Jak wdrażać szczupłe zarządzanie**

W ramach strategii Lean management wyróżnia się szereg wytycznych, jakie odnoszą się do całości cyklu produkcyjnego [1]. Oparte są one na założeniach efektywnego działania, stąd efekty stosowania tych kroków niosą wymierne korzyści dla organizacji:

- ograniczenie wytwarzania oraz utylizacja odpadów,
- dążenie do niezawodności technologii i zmniejszenie występowania defektów,
- optymalizacja systemów dostaw, magazynowania komponentów oraz wykorzystania półproduktów w sposób ograniczający wykorzystanie zasobów,
- standaryzacja i wizualizacja pracy jako działania usprawniające i przyspieszające realizowane poprzez dokumentację poszczególnych etapów, normalizację pracy i wgląd w poszczególne etapy produkowania,
- kontrola jakościowa i ilościowa o zwiększonej częstotliwości,
- określanie wymaganego poziomu produkcji i realizowanie go, unikanie nadprodukcji.

Innym ważnym składnikiem szczupłej produkcji jest zastosowanie gotowych rozwiązań opracowanych przez specjalistów m.in. z fabryki Toyoty i doskonalonych przez długi czas w licznych przedsiębiorstwach. Stanowią one różne narzędzia i metody odnoszące się do poszczególnych obszarów produkcji:

- produkt: kastomizacja wyrobu, projektowanie modułowe, rozwinięcie funkcji jakościowych,
- doskonalenie: metoda ciągłego/systematycznego doskonalenia, kaizen, 5S, 5 Why (technika 5 pytań – dlaczego?),
- produkcja: analiza marnotrawstwa, kaban, redukcja czasu przebrojenia, heijunka,
- jakość: model kano, poka yoke, jidoka, kontrola statystyczna [6].

## **4. Społeczna odpowiedzialność biznesu**

Każdemu przedsiębiorstwu produkcyjnemu przyświecają cele: główny, czyli maksymalizacja zysku oraz poboczne związane indywidualną wizją

szczebla kierowniczego. Niezależnie od wielkości danej organizacji wszystkie działania, których się podejmują, mają znaczący wpływ na otoczenie. Ważnym obszarem, na jaki firmy oddziałują, jest otoczenie społeczne co bezpośrednio powiązane z terminem corporate social responsibility (CSR) – społecznej odpowiedzialności biznesu. Termin ten jednak odnosi się również do środowiska naturalnego, które podlega silnym oddziaływaniom ze strony człowieka.

Znaczenie społecznej odpowiedzialności biznesu ujawniła publikacja H. Bowena *Social Responsibilities of the Businessman*, w której autor podkreśla, jak duże znaczenie mają firmy na niedostrzegalne dotychczas zmiany [8]. Rosnąca produkcja wszystkich obszarów sprawia, że musimy stale badać powody negatywnych oddziaływań oraz poszukiwać nowych metod przeciwdziałania degradacji.

Z czasem strategia odpowiedzialności stała się ważnym narzędziem w rękach przedsiębiorców, nie tylko w kontekście działań w zakresie public relations czy filantropii, lecz także aspektem wizerunkowym na stałe wpisanym w wizję produkowania. Ponadto, nad producentami są stawiane wymagania dotyczące środowiska przyrodniczego czy otoczenia społecznego. Weryfikacja działań zapobiegających szkodliwości odbywa się za pomocą instrumentów takich jak ISO 26000, GRI czy AA1000. Raporty spełnienia wytycznych zawierające kompleksowe informacje są publikowane w ramach komunikacji firmy ze społeczeństwem, a oceną zajmują się odpowiedzialne organy takie jak Unia Europejska [8]. W istocie społeczna odpowiedzialność jest czynnikiem w podejmowaniu decyzji strategicznych, przedsiębiorca powinien brać pod uwagę względy ekonomiczne bez umniejszenia wartości spraw takich jak ochrona środowiska czy istotne problemy społeczne. Kluczowe jest zachowanie równowagi pomiędzy własnymi interesami a bezpieczeństwem otoczenia, w jakim funkcjonuje przedsiębiorca jako człowiek i jako organizacja.



Rys. 3. Składniki społecznej odpowiedzialności biznesu [8]



## 5. Podsumowanie

Dbanie o środowisko to odpowiedzialność, jaka towarzyszy każdemu człowiekowi, w dzisiejszych czasach jesteśmy coraz bardziej świadomi, ale i coraz lepiej poznajemy mechanizmy przeciwdziałające degradacji otoczenia. Duże organizacje produkcyjne nie są wyjęte spod tej powinności, a zmiany sposobu działania towarzyszące ochronie środowiska stają się coraz bardziej powszechne. Istnieją różne narzędzia pozwalające na realizację celów zarówno ekonomicznych i społecznych, jak i środowiskowych. Nieocenionym rozwiązaniem jest strategia lean management bazująca odchudzaniu procesów, unikaniu marnotrawstwa czy minimalizacji wykorzystania zasobów. Właśnie to sprawia, że założenia koncepcji zrównoważonego rozwoju zostają spełnione. Ważnym składnikiem jest również idea ciągłego doskonalenia zawarta w technikach lean. Umiejętne wrażanie pozostawia nadzieję na skuteczną poprawę warunków środowiskowych, w jakich żyjemy. Za jej sprawą można wnioskować, że będziemy w stanie sprostać nowym wyzwaniom, jakie wkrótce zostaną postawione. Nowe odkrycia w zakresie ekologicznym stale podnoszą poprzeczkę konkurencyjności, wdrażanie nowych rozwiązań minimalizujących szkody jest trudne, lecz wpisują się one w filozofię lean management.

W artykule wskazano problem w jakim stopniu uszczuplone zarządzanie wspomaga spełnienie wymagań dotyczących ochrony przyrody. Nieodłącznym składnikiem tych usprawnień są także korzyści ekonomiczne. Kierowanie się nimi jest naturalną drogą rozwoju na rynku produkcyjnym, ale ostatecznie przewagę osiąga się poprzez odpowiedni poziom równowagi między składnikami otoczenia przedsiębiorstwa.

## Literatura

- [1] Dekier Ł., *Zastosowanie systemu sugestii w przedsiębiorstwach zarządzanych zgodnie z metodą Lean management*, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, Poznań, 2017.
- [2] Hines P., *Kierunek – organizacja Lean*, Wydawnictwo LeanQ Centrum, Gdańsk, 2003.
- [3] Janiszewski J.M., Siemieniuk K., *Lean management jako koncepcja wspomagająca zarządzanie innowacjami w przedsiębiorstwie*, Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania, nr 30, 2012.
- [4] Pakulska T., Poniatowska-Jaksch M., *Rozwój zrównoważony – „szeroka i wąska” interpretacja, stan wiedzy*, Szkoła Główna Handlowa, 2008.
- [5] Piasecka-Głuszak A., *Poprawa innowacyjności i konkurencyjności polskich przedsiębiorstw przez zastosowanie koncepcji Lean management*, Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu, 2013.

- [6] Trzcieliński S., Włodarkiewicz-Klimek H., Pawłowski K., *Współczesne koncepcje zarządzania*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2013.
- [7] Womack J.P., Jones J.P., *Lean thinking – odchudzanie firm*, Centrum Informacji Menedżera, Warszawa, 2001.
- [8] Żychlewicz M., *Spółeczna odpowiedzialność biznesu jako strategia prowadzenia działalności polskich przedsiębiorstw*, *Współczesne Problemy Ekonomiczne*, nr 11, Zeszyty Naukowe, Uniwersytet Szczeciński, 2015.

**Karol BUCZEK<sup>(1)</sup>, Klaudia NOWAK<sup>(1)</sup>, Agnieszka DUDZIAK<sup>(2)</sup>**

<sup>(1)</sup>Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Studenckie Koło Naukowe Zarządzania i Ekonomii, kierunek Zarządzanie i Inżynieria Produkcji,

<sup>(2)</sup>Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Studenckie Koło Naukowe Zarządzania i Ekonomii, kierunek Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, ORCID: 0000-0002-4884-5403

## **KIERUNEK ROZWOJU, SZANSE I ZAGROŻENIA IMPLEMENTOWANIA SYSTEMU CRM**

### **1. Wprowadzenie**

Technologia komputerowa, Internet, informatyzacja to ważne czynniki warunkujące duże zmiany w branży usługowo-produkcyjnej. Dzisiejsze przedsiębiorstwa napędzane są tysiącami maszyn, w tym komputerów, które wymagają odpowiedniego, indywidualnie dostosowanego oprogramowania. To, co kiedyś stanowiło wyzwanie dla poszczególnych pracowników, dziś realizujemy z pomocą prostych interfejsów, nie dostrzegając, jak wiele obliczeń wykonują komputery. Technologie informatyczne to nieodłączny komponent funkcjonowania przedsiębiorstw, stale doskonalenie narzędzi zapisujących, analitycznych i operacyjnych pozwala na optymalizację produkcji w coraz szerszym zakresie. Organizacje usługowe nie pozostają w tyle w odniesieniu do produkcyjnych, a możliwości systemów zarządzania wykorzystują nawet w większym stopniu. W tym sektorze istotą jest marketing oraz obsługa klienta i właśnie w tych obszarach systemy wspomaganie relacji z klientem sprawdzają się najlepiej.

### **2. Charakterystyka systemu CRM**

Na sprawną obsługę klienta składa się szereg wytycznych. Na początku trzeba zidentyfikować klienta- rozpoznać wszystkie dane niezbędne do wykonania zleconego działania lub rozwiązania problemu. Ważną informacją jest też historia działań na kliencie, jego żądań czy zleceń. W instytucjach objętych wzmożoną kontrolną niezbędne jest też zachowanie odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa gromadzenia i dysponowania danymi klienta. Wszystkie te informacje mogą być magazynowane w systemie komputerowym, a następnie wykorzystane w celu realizacji danego procesu.

Kolejną możliwością wykorzystania przewagi, jaką daje gromadzenie danych, jest obszar marketingu. Katalogi danych na temat klienta i środowisko

analityczne pozwalające na dobór oferty spersonalizowanej znacząco podnoszą poziom sprzedaży. Tuż po rozpoznaniu klienta za pośrednictwem systemu sprzedawca ma wgląd w znaczące dane na jego temat. Są to preferencje produktów, sposób zakupu, historia zakupionych usług wraz ze szczegółowymi danymi transakcji. W realizacji pomaga intuicyjna warstwa oprogramowania, z jakim pracuje sprzedawca, tym sposobem skrócony zostaje czas realizacji działania na kliencie podczas spotkania czy rozmowy telefonicznej.

System wspomagania relacji z klientem określa się skrótem CRM (ang. *Customer Relationship Management*). Oparty jest on na założeniu, że stanowi on metodę wprowadzania strategii biznesowej CRM w sposób intuicyjny i prosty dla użytkowników. Sama strategia jest ukierunkowana na klienta, w celu osiągnięcia postawionych wyników zestawia ze sobą budowanie i zarządzanie relacjami w trosce o zaspokojenie jego potrzeb. Prowadzi do zaprojektowania działań obsługi, wymaga zmiany sposobu wykonywania pracy i jest wspierana przez technologię informatyczną- system CRM [1]. Fundament takiego myślenia opiera się o charakterystykę konsumentów, każdy z nich jest inny, podobne potrzeby może realizować innymi metodami, a jego decyzje są uzależnione od wielu czynników. W kompleksowej i dopasowanej obsłudze mogą pomagać informacje, jakie przechowuje system komputerowy.

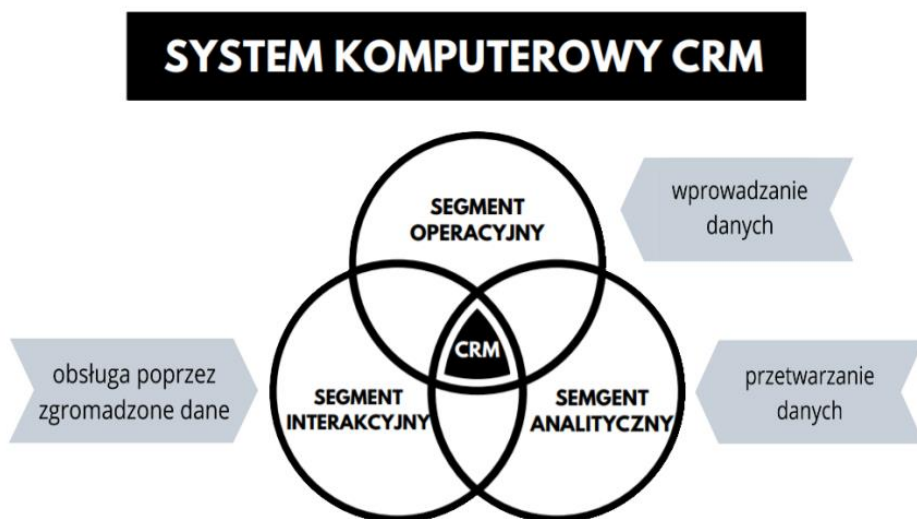
## **2.1. Budowa i zasada działania**

Architektura systemu informatycznego zawiera w sobie podsystemy zestawiające klientów z powiązаныmi procesami realizowanymi pośrednio i bezpośrednio dla nich. Schematyczny punkt widzenia takiego systemu obejmuje trzy formy: podsystem operacyjny, analityczny i interakcyjny. Każdy z nich ma odrębną funkcję, pozostając w stałej komunikacji między poszczególnymi częściami [5].

Operacyjny CRM działa jako miejsce wejścia danych do systemu i odpowiada za przechowywanie ich. Przebieg procesu zbierania danych odbywa się poprzez rejestrację nowego klienta, obsługę marketingową oraz ankiety. Główne zadania tego podsystemu obejmują automatyzację procesów transakcyjnych, rejestracyjnych, segmentację rynku, obsługę kampanii, zarządzanie kontaktami poprzez call center i serwis internetowy oraz działaniami na kliencie – konfiguracją produktu czy obsługą wniosków.

Interakcyjny obszar systemu CRM to środowisko styku pracownika obsługi i klienta, ale nie tylko. Platforma komunikacyjna służy operacjom usługowym, lecz także jako łączność z dostawcami, serwisantami wewnętrznymi czy partnerami biznesowymi. Tutaj zgromadzone są narzędzia umożliwiające łączność telefoniczną, jak i obsługujące pocztę, fax, SMS i e-mail czy aplikacje głosowe, Interfejs ten wykorzystywany jest do realizowania działań sprzedażowych, marketingowych i szerokiego zakresu obsługi.

Środowisko analityczne systemu CRM to zaplecze odpowiadające za kalkulacje i przetwarzanie danych o klientach na zrozumiałe dla pracowników komunikaty informacyjne. System generuje analizy biznesowe, raporty, prognozy i sprawozdania co w rezultacie daje obraz skuteczności przedsiębiorstwa w obrębie zapewnianych usług czy sprzedaży. Inną formą wykorzystywania danych są działania przyszłe, zaplanowane na podstawie identyfikacji potrzeb, wyborów czy konkretnych zachowań klienta, Są to między innymi szacowanie kosztów, planowanie kampanii, pozyskiwanie klientów czy opracowanie strategii.



Rys. 1. Struktura komputerowego systemu wspomaganie relacji z klientem [5]

## 2.2. Implementacja CRM

Środowisko oprogramowania CRM to szereg rozwiązań wpływających na procesy zachodzące w firmie. Integruje ze sobą działy zewnętrzne (*front office*), które mają bezpośredni kontakt z klientem z działami wewnętrznymi (*back office*) – pozostałymi [2]. Wdrożenie odpowiednio spójnego systemu scalającego różne składniki wszystkich komórek to duże wyzwanie dla firmy. Zaistniała komunikacja między kilkoma działami jest niezbędna do realizacji idei CRM. Przykładem jak duże korzyści można w ten sposób osiągnąć, jest rozmowa telefoniczna klienta i pracownika działu marketingowego. Przychylność, lojalność i zadowolenie klienta wzrosną, gdy w ramach kontaktu reklamowego bądź z zakresu obsługi będzie on mógł otrzymać dodatkowe informacje na temat wcześniej złożonej reklamacji i stan jej rozpatrzenia. Aby taka sytuacja zaistniała pracownik działu marketingowego musi posiadać wgląd w dane działu

reklamacyjnego oraz posiadać pozwolenie na ich wykorzystanie. Ta sytuacja pokazuje obraz polityki firmy zorientowanej na klienta, troska o zaspokojenie wszystkich potrzeb oraz wysoka jakość obsługi to klucz do osiągania zysku i stałego rozwoju. Niezaprzeczalnie dużym wyzwaniem jest zmiana sposobu osiągania korzyści firmy. Zysk, czyli główny cel przedsiębiorstwa zorientowanego na sprzedaż zgodnie z założeniami idei CRM powinien być realizowany pośrednio z dominującym udziałem zapewnienia jak najwyższego poziomu spełnienia oczekiwań klienta [3]. Zasady skierowania orientacji firmy na klienta muszą być podjęte przez wszystkich pracowników, zarówno tych na szczeblu niższym, jak i kierowniczym. Ważne jest, by zapewnić całej organizacji wsparcie specjalistów z tej dziedziny.

Aby uporządkować trudności techniczne, jakie mogą wystąpić podczas wdrożenia oprogramowania, trzeba podzielić je na kilka kategorii:

- **Dotychczasowe systemy.** Każda firma działająca przez określony czas wypracowuje wybory sprawdzonych i dopasowanych do siebie rozwiązań informatycznych. Na taki wybór składają się czynniki takie jak szybkość działania systemu, intuicyjność, łatwość implementacji, sposób wspomagania. Przy wykorzystaniu kilku systemów, odrębnych dla poszczególnych działów firmy możliwość komunikacji między nimi wymaga dostosowania i konfiguracji lub jest utrudniona czy nawet niemożliwa. Przykładem obrazującym tę skomplikowaną sytuację może być łączność między indywidualnymi systemami sprzedaży i obsługi klienta. Rozmowa z klientem w sprawie nowej transakcji nie będzie skuteczna w momencie, gdy klient zgłaszał wcześniej nową ważną dla niego dyspozycję, o której nie wiedział sprzedawca. Brak komunikacji systemów negatywnie wpływa na obsługę w wielu przypadkach. Trudnością w implementacji jest tu dopasowanie oprogramowania CRM do istniejących systemów bądź wprowadzanie nowych- kompatybilnych. W wielu przypadkach wymiana obecnych systemów w kilku obszarach jednocześnie będzie bardzo dużym wyzwaniem.
- **Nieustanne zmiany.** Skuteczność w sprzedaży to istotny wskaźnik dla wielu firm nastawionych na szybki zysk. Ilość dokonanych transakcji podnoszą nowe techniki oraz narzędzia wpływania na klienta. Istotny jest również dobór oferty, która bywa zmienna w krótkich okresach czasowych. System CRM pokrywający znaczną część wykonywanych operacji wymaga podjęcia odpowiednich kroków w zakresie modyfikacji zasady działania narzędzi sprzedażowych. Stąd nowe oferty czy techniki, jakie chcemy wprowadzać, wymagają kadry specjalistów, a implementacja zmiennych może generować opóźnienia.
- **Wielokanałowość kontaktu.** Klienci kierujący się wygodą chętnie korzystają z nowych możliwości błyskawicznego kontaktu. E-maile, faksy,

połączenia telefoniczne są standardem, ale tempo rozwoju oraz wzrost popularności witryn web i komunikatorów internetowych narzuca na przedsiębiorcę wdrażanie nowych funkcjonalności. Odpowiedni poziom spójność we wszystkich kanałach kontaktu wymaga implementowania nowych rozwiązań, które pokryją wszystkie preferencje klienta. Mając na uwadze troskę o najwyższą jakość obsługi, należy być otwartym na nieustające zmiany wynikające z rozwoju technologii oraz podejmować działania w zakresie wykorzystywania ich [2].

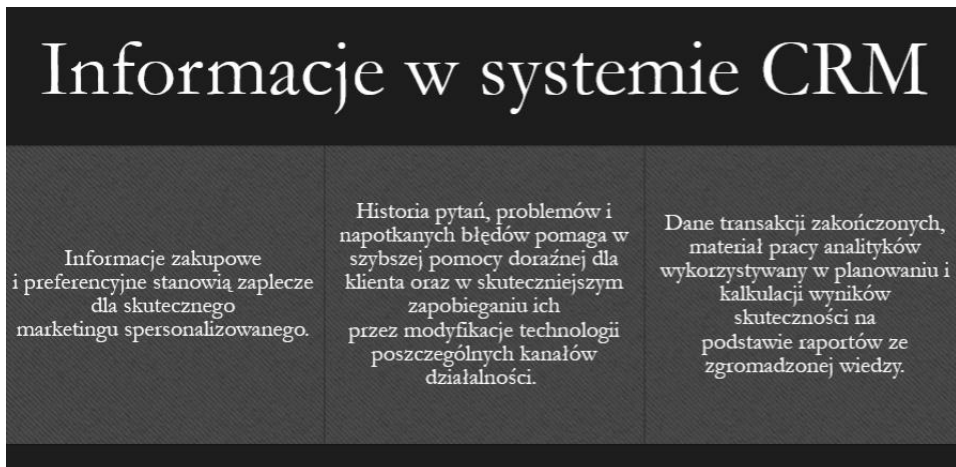
### **2.3. Korzyści z zastosowania systemu CRM**

Dla dużych firm posiadających ogrom klientów wyzwaniem jest kompleksowa obsługa klienta. Wiele trudności m.in. przytłaczająca ilość danych o kliencie, wielowątkowość i złożoność problemów, czy obsługa na bieżąco sprawia, że klienci nie zawsze są zadowoleni z przebiegu wykonania dyspozycji czy realizacji usługi. Dobra i sprawna obsługa jest gwarancją dobrej reklamy nie zawsze o dużym zasięgu, lecz o wysokiej wiarygodności. Mądry przedsiębiorca wie, że niezależnie od kanału pozytywny rozgłos ma gigantyczne znaczenie na rynku nasyconym. Sposób, w jaki system informatyczny będzie wspierał pracowników, jest głównym obszarem zainteresowania firm zastanawiających się nad implementacją. Zastosowana technologia pozwala na gromadzenie szczegółowych danych na temat klienta, jego transakcjach, negocjacjach, zleceniach, podjętych działaniach marketingowych, lecz także informacje na temat konkurencyjnych przedsiębiorstw. Wspomaganie odbywa się za pomocą poszczególnych, skomunikowanych ze sobą interfejsów pokrywających sprzedaż, zdobywanie potencjalnych klientów, utrzymywanie dobrych stosunków z klientami, sondowanie potrzeb, badanie satysfakcji, serwisowanie, reklamowanie czy doradztwo [4]. Wszystkie te narzędzia wymagają wiedzy i doświadczenia pracownika obsługującego i stanowią stałą możliwość rozwoju dla pracownika. System również jest stale rozwijany dzięki zaimplementowanym schematom rozbudowy dla spersonalizowania realizowanych działań w firmie.

Pomyślne wdrożenie strategii CRM wraz z oprogramowaniem wspomagającym gwarantuje firmie szereg korzyści:

- przejrzysta platforma przeznaczona do realizowania usług, indywidualne interfejsy dla poszczególnych pracowników podnoszące skuteczność oraz natychmiastowa komunikacja na podstawie wspólnego systemu dla wszystkich działów,
- możliwość stałego rozwoju dzięki instrumentom modyfikacji oprogramowania,
- odpowiedź na zmienne środowisko rynkowe jako techniczna możliwość wdrażania nowej technologii i przyszłych metod obsługi klienta,

- oprogramowanie organizacji pracy dopasowane do charakteru i strategii przedsiębiorstwa podnoszące efektywność planowania,
- automatyzacja i skrócenie czasu wykonywanych czynności,
- narzędzie umożliwiające utworzenie witryn WEB umożliwiających samoobsługę klientów,
- wyjście naprzeciw oczekiwaniom klienta- wysoka jakość obsługi gwarancją dobrej reklamy,
- pokrycie wszystkich kanałów komunikacji z konsumentem i interesariuszami,
- uporządkowana centralna baza klientów, kontrahentów, pracowników, wspólników oraz magazynowanie wszystkich powiązanych z nimi danych [2].



Rys. 2. Skład informacji bazy klienta [2]

### 3. Znaczenie personalizacji dla klienta

Obszary rynków przepełnionych są trudnym miejscem dla realizacji zamierzonych celów przez przedsiębiorców. Stały rozwój wymaga poszukiwania nowych sposobów przebicia się wśród wielu konkurentów proponujących podobne usługi czy produkty. Gdy obniżenie cen nie jest możliwe, a oferowana jakość w danej grupie producentów utrzymuje się na podobnym poziomie, rozwiązaniem może okazać się personalizacja usługi lub produktu.

Personalizacja to nic innego jak działania dążące do dostarczania indywidualnych treści w sposób odrębny dla każdego klienta. Dzięki wiedzy na



temat klienta można zaoferować danemu konsumentowi dokładnie to, czego potrzebuje, szczególnie podejście sprawia, że doceniony klient zaczyna czuć się wyjątkowo i ostatecznie powoduje to pozytywny odbiór producenta. Wszystko co wyróżnia poszczególnych konsumentów, pomaga w zastosowaniu indywidualnego podejścia. Preferencje, potrzeby i sposób ich zaspokajania, czy zainteresowania klienta to informacje umożliwiające utworzenie profilu użytkownika a następnie segmentowania rynku [4]. Cała taka wiedza jest pozyskiwana z rozmów telefonicznych, ankiet czy nawet sposobu korzystania z witryn internetowych. Wykorzystanie takich danych przy marketingu, sprzedaży czy reklamie jest kartą przetargową przedsiębiorcy w stałym podnoszeniu jakości wykonywania usług i gromadzeniu większych zysków z powiększającego się grona klientów.

Do korzyści związanych z personalizowaniem produktu i usługi osiągniętych przez konsumentów można zaliczyć:

- skuteczną obsługę,
- dostęp do odpowiedniej oferty dla klienta,
- spełnienie oczekiwań,
- szybki i wygodny dostęp do usług,
- możliwość składania indywidualnych zamówień.

Niektóre z zalet generowanych przez personalizację dla producenta to [4]:

- wykorzystanie oczekiwań w sprzedaży i przygotowaniu ofert – wzrost skuteczności,
- wysoki poziom komunikacji między firmą a nabywcą,
- otrzymanie opinii przyjaznego producenta,
- zadowolenie klienta warunkujące reklamę i rozgłos,
- definiowanie grupy docelowej usług i produktów.

Wprowadzenie usług spersonalizowanych jest wyzwaniem dla każdej organizacji. Podejmowany wysiłek może zostać zredukowany poprzez zastosowanie oprogramowania CRM. System ten jest przeznaczony do realizacji indywidualnego podejścia do każdego klienta a dzięki narzędziom, w jakie jest wyposażony, praca z klientem staje się mniej wymagająca. System dostarcza niezbędnej wiedzy w celu kompleksowej obsługi, ale także informacji zmiennych dla każdego klienta. Wykorzystanie ich w odpowiedni sposób wymaga szkolenia pracowników, ale korzyści są dostrzegalne tuż po wprowadzeniu.

#### **4. Kierunek innowacji systemu wspomaganie relacji z klientem – społecznościowy CRM**

Media społecznościowe są nieodłącznym elementem życia dzisiejszego społeczeństwa. Ich użytkownicy to przeważnie pokolenia młodsze, które już są w pełni uprawnionymi konsumentami lub staną się nimi już w niedługim czasie. Dla marketingu ma to ogromne znaczenie, Ten młody rynek rozkwita w coraz szybszym tempie, a jego oznaki są widoczne, chociażby w mobilnych aplikacjach banków czy zakupów realizowanych przez Internet i aplikacje w telefonie. Reklamy są widoczne na stronach internetowych, lecz z czasem stają się nieefektywne- użytkownicy w małym stopniu zauważają banery czy grafiki reklamowe. Media społecznościowe stają się miejscem dla bardziej wiarygodnych reklam i opinii na temat produktu lub usługi, w których pośrednikiem jest znana osoba czy znajomy. Dla przedsiębiorstw to ważny czynnik warunkujący zmiany w sposobie reklamowania swojej działalności i zawierania przyszłej współpracy. Takim działaniom pośredniczy system CRM, którego jednym z głównych zadań jest komunikacja pracownika i konsumenta w sposób pośredni i bezpośredni. Rozwój tego obszaru wpływa nie tylko na zmieniający się sposób komunikacji, lecz także na możliwości gromadzenia informacji o kliencie [6].

##### **4.1. Korzyści dla firm powiązane ze społecznościowym CRM**

Jedną z najbardziej popularnych stron społecznościowych jest Facebook. Portal umożliwia dzielenie się nie tylko przedmiotami rozrywki, lecz także informacjami w tym reklamowymi. Wiele organizacji decyduje się na swoją reklamę właśnie w tym miejscu z wielu powodów:

- Nowy kanał komunikacji natychmiastowej- portal udostępnia możliwość komunikowania o bardzo szerokim paśmie dostępności w tym w sposób mobilny zainteresowanego z administratorem strony w celu otrzymania konkretnych informacji.
- Łatwy dostęp klienta do autoryzowanych informacji z zakresu działalności, polityki, charakteru przedsiębiorstwa a w szczególności do oferty sprzedażowej oraz drogi jej realizacji.
- Możliwość udostępnienia opinii klienta widocznej dla innych użytkowników portalu. Ocena jest nieocenionym składnikiem wiarygodnej, ogólnodostępnej reklamy w tym od znanej konsumentowi osoby. Stanowi również informację zwrotną dla przedsiębiorcy o jakości swojej działalności oraz w przypadku oceny negatywnej jest miejscem do naprawy stosunku klienta do marki, oraz poznanie powodu niezadowolenia klienta.

- Jest miejscem komunikacji masowej, pozwalającej na przekazanie ogólnej informacji od firmy na temat nowej oferty, zmian organizacji pracy czy innych ważnych kwestii. Zasięg takiego komunikatu jest szeroki, a odbiorcami są wyłącznie osoby zainteresowane daną firmą.
- Portal zawiera narzędzia umożliwiające przekazywanie spersonalizowanej reklamy udostępnianej nowym, potencjalnym klientom. Do jej utworzenia są potrzebne informacje z zakresu segmentacji rynku i profilu użytkownika. Taki komunikat marketingowy skierowany do odpowiedniej grupy odbiorców wykazuje się rosnącą skutecznością.
- Firmy decydujące się na utworzenie własnej strony otrzymują dostęp do danych dotyczących popularności w tym informacji z zakresu danego segmentu rynkowego, do jakiego należy zainteresowany użytkownik.
- Dla klientów organizacja istniejąca na portalu społecznościowym zyskuje nową twarz – staje się bliższa użytkownikowi oraz otrzymuje wizerunek bardziej wiarygodnej. Okazuje się to mieć bardzo duże znaczenie w przypadku dużej konkurencji firm o podobnym charakterze produkcyjno-usługowym [6].

## 5. Podsumowanie

Systemy klasy CRM są nieocenionym narzędziem do wspomaganie zachodzących procesów w firmie. Wdrażanie strategii poprzez system wiąże się z zagrożeniami związanymi z trudnością implementacji, ale także szansami zwiększenia osiąganych korzyści. Wyniki wdrażania powiązane są z kadrą pracowniczą, która wymaga odpowiedniego szkolenia oraz systemu motywowania, by w pełni wykorzystać wszystkie możliwości, jakie oferuje system informatyczny. Implementacja wiąże się przede wszystkim ze sposobem dostosowania rozwiązań dla indywidualnego charakteru przedsiębiorstwa, co często oznacza zmiany technologiczne i strukturalne organizacji. Rynek systemów wpierających relacje z klientem nieustannie rośnie, dzięki badaniom dotychczasowe rozwiązania są stale rozwijane, a nowa technologia pozwala na wdrażanie instrumentów wcześniej niestosowanych. Ważnym kierunkiem rozwoju jest społecznościowy CRM opierający się o marketing internetowy. Obecnie duża część firm decyduje się na zaistnienie w społecznościach internetowych, co przekłada się na pokrycie nowych form kontaktu i zgromadzenie większej ilości informacji o obecnym i przyszłym kliencie. CRM społecznościowy jest powiązany z założeniami strategii wspomaganie relacji z klientem, co w przyszłości może poskutkować znaczącym wzrostem jego wagi na rynku produkcyjno-usługowym.

## Literatura

- [1] Lotko A., *Zarządzanie relacjami z klientem*, Politechnika Radomska, Radom 2003.
- [2] Snyder M., Steger J., *Praca z Microsoft Dynamics CRM 3.0*, Warszawa 2006.
- [3] Poślednik A. *Warunki wdrożenia CRM w przedsiębiorstwach*, Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu, *Nauki o Zarządzaniu* nr 2/15, 2013 s. 99–114.
- [4] Stasieńko J., *System informatyczny wspomagający zarządzanie relacjami z klientem*, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Chełmie 2006.
- [5] Olszak C., Bartuś K., Billewicz G., *Wykorzystanie systemów klasy CRM w działalności biznesowej przedsiębiorstw – wybrane wyniki badań*, Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach 2015.
- [6] Bojanowska A., *Media społecznościowe jako narzędzie zarządzania relacjami z klientami (CRM)*, *Przedsiębiorczość i zarządzanie* Łódź- Warszawa 2017.

**Małgorzata CHEĆ<sup>(1)</sup>, Monika STOMA<sup>(2)</sup>**

<sup>(1)</sup> Studenckie Koło Naukowe Zarządzania i Ekonomii, Wydział Inżynierii Produkcji, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

<sup>(2)</sup> Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ORCID:0000-0003-0404-699X

## **PERSPEKTYWA ROZWOJU RYNKU SAMOCHODÓW AUTONOMICZNYCH**

### **1. Wprowadzenie**

Postęp techniczny przynosi wiele zmian. Coraz częściej spotykamy się z różnymi udogodnieniami życia codziennego w wielu jego sferach i obszarach. Tak jak w przypadku innych otaczających nas rzeczy, zauważyć można ciągłe doskonalenie, tak też w motoryzacji z każdym rokiem, a nawet miesiącem pojawiają się nowe rozwiązania. Jeszcze do niedawna samochody bez kierowcy pojawiające się w książkach, czy filmach przedstawiane były jako coś, co czeka nas w dalekiej przyszłości. Jednak jeszcze do tej pory po naszych ulicach nie poruszają się pojazdy autonomiczne, chociaż w dawnych latach przypuszczano, że nastąpi to niebawem [1].

Pojawia się więc pytanie: czy na pewno samochody autonomiczne pozostają jedynie przyszłością? Jeżeli przyszłością, to nieodległą, gdyż testy samochodów autonomicznych są już prowadzone w różnych krajach, a wiele koncernów prezentuje coraz częściej swoje rozwiązania. Obecnie produkowane samochody stają się coraz bardziej niezależne od człowieka, jednak na razie mają tylko wspierać kierowców. Dostępne na rynku nowe pojazdy posiadają więcej udogodnień, niż te auta, które były dostępne jeszcze kilka lat temu.

Dodać należy, iż w ciągu ostatniej dekady automatyczne systemy prowadzenia pojazdów (*ADS – automated driving systems*) rozwijają się dość dynamicznie, a technologia *AV (autonomous vehicles)* zyskuje coraz większą uwagę wśród różnych podmiotów funkcjonujących na współczesnym rynku: producentów pojazdów, firm technologicznych, decydentów, a także opinii publicznej. Zwraca się szczególną uwagę na takie zmiany w technologii automatyzacji pojazdów, jak np.: automatyczne hamowanie, automatyczny tempomat, inteligentne wspomaganie prędkości, systemy wspomagania utrzymywania linii itp., co zbliża nas do pojazdów coraz bardziej autonomicznych i samodzielnych. Biorąc więc powyższe pod uwagę, można oczekiwać, że systemy te będą się nadal rozwijać w sposób dynamiczny [2].

Stąd też, celem artykułu jest przybliżenie działania, zastosowania, a także przegląd obecnie tworzonych rozwiązań oraz rozwoju i przyszłości rynku samochodów autonomicznych.

## **2. Czym jest samochód autonomiczny?**

Samochód autonomiczny to bezzałogowy pojazd przewożący ludzi lub towary, mogący poruszać się po drodze bez udziału człowieka – kierowcy. Dzięki zastosowaniu wielu nowoczesnych technologii takie auto jest kierowane w pełni lub w przeważającej części przez specjalny system komputerowy. Główną ideą samochodu autonomicznego jest więc poruszanie się bez kierującego. Brak człowieka decydującego o sposobie jazdy ma na celu między innymi zwiększenie bezpieczeństwa, ograniczenie ilości i skutków wypadków, wygodę i przyjemność z podróżowania, czy wspomaganie w poruszaniu się osób niepełnosprawnych i/lub starszych [3].

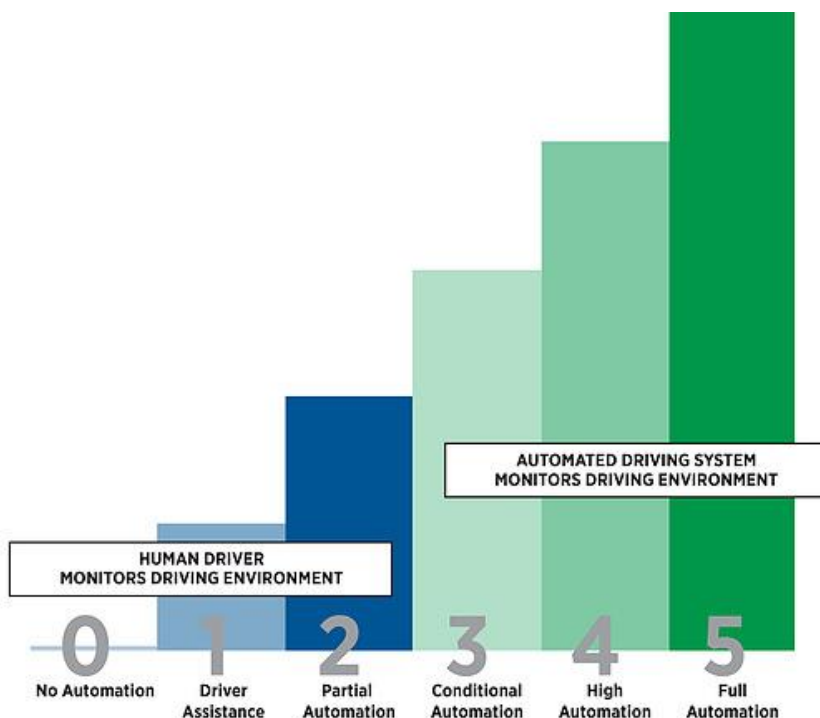
Pojazdem autonomicznym może być zarówno samochód osobowy, ciężarówka i dron; istotne jest to, że dany pojazd musi opierać się na sztucznej inteligencji przy różnym stopniu wkładu człowieka. Przetwarzając i analizując w każdej sekundzie miliardy danych pochodzących z szeregu czujników, kamer i systemów radarowych, pojazdy autonomiczne mogą lepiej reagować na zmieniające się warunki lub pokonywać przeszkody.

Z powodu rozwijającej się automatyzacji, w wielu państwach wprowadzono prawne definicje samochodu bądź pojazdu autonomicznego. Zgodnie z panującym w Polsce prawem samochodem autonomicznym jest pojazd, który dzięki zastosowaniu komputerowych systemów porusza się bez udziału kierowcy. Dopuszczone są jedynie testy, a także prace badawcze, jednak prawo polskie nie pozwala na korzystanie z aut autonomicznych komercyjnie przez społeczeństwo. Do dopuszczenia samochodu autonomicznego do ruchu są niezbędne pozwolenia wydawane przez upoważnione do tego organy, na podstawie dokumentacji zgłaszanego testu auta, trasy, czy nawet przekazania informacji mieszkańcom danego miejsca testu. Dokładne określenie tego pojazdu, a także przeprowadzanych badań aut autonomicznych można odnaleźć w ustawie o elektromobilności i paliwach alternatywnych [4].

## **3. Klasyfikacja pojazdów autonomicznych według SAE**

Nieustanny rozwój pojazdów, w tym ich samodzielności w poruszaniu się (bez udziału człowieka), wymusił utworzenie dokładnego podziału określającego stopień ich zaawansowania technicznego. Z tego powodu

powstały dwie szczególne klasyfikacje. Jedną z nich jest podział utworzony przez Amerykańską Krajową Administrację Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego (NHTSA), która wyróżnia pięć poziomów automatyzacji. Kolejną klasyfikacją, dość podobną do utworzonej przez NHTSA, jest podział zaproponowany przez SAE, czyli Amerykańskie Towarzystwo Inżynierów Motoryzacyjnych (Society of Automotive Engineers) [4], [5]. Tak jak NHTSA, SAE również wyróżnia pięć poziomów automatyzacji (plus poziom zerowy), jednak klasyfikacja ta jest bardziej szczegółowa i praktyczna (Rys. 1).



Rys. 1. Klasyfikacja pojazdów autonomicznych wg SAE [6]

Poziomy automatyzacji według SAE podzielić można na dwie główne kategorie. Poziomy od 0 do 2 dotyczą pojazdów, gdzie kierowca jest osobą decydującą. Kolejne poziomy: 3, 4 oraz 5 pozwalają na jazdę prowadzoną przez komputer [7], [8]. Dodać można, iż poziomy od 1 do 3 uważane są za „półautonomiczne”.

### 3.1. Kiedy człowiek kieruje autem – poziomy 0-2

Poziom 0 (bez automatyzacji) – pojazdy należące do tej klasy są najmniej skomplikowane. W zasadzie takie auta nie posiadają żadnej autonomiczności. To człowiek decyduje o sposobie, a także o jakości poruszania się danego

samochodu. Za wszelkie czynności dotyczące kierowania odpowiada więc kierowca. Przykładem są stare auta, nieposiadające żadnej komputeryzacji, coraz częściej wypierane przez bardziej zaawansowane samochody [8].

Poziom 1 (asystent kierowcy) – auta tej grupy są najczęściej używane. Zastosowane w nich systemy mają jedynie pomagać człowiekowi. Należące do tej grupy pojazdy posiadają wspomagające kierowcę urządzenia, które bez udziału człowieka nie są w stanie prowadzić auta. Jedne dostarczają tylko informacji, pomagając poruszać się po drodze, jak na przykład czujnik zajętości pasa ruchu. Z kolei inne, jak tempomat, utrzymują określone parametry jazdy [8]. Systemy te automatyzują jedynie określony element prowadzenia, jednakże kierowca zobowiązany jest trzymać cały czas ręce na kierownicy i obserwować ruch na drodze.

Poziom 2 (częściowa automatyzacja) – poziom ten jest bardziej rozwinięty pod względem automatyzacji niż poziom pierwszy – odpowiada jeździe półautonomicznej. Komputer potrafi sam określić sposób jazdy, jednak tylko wtedy, gdy można przewidzieć warunki na drodze, np. w przypadku korków na drodze pojazd może autonomicznie przejąć prowadzenie, kierowanie i hamowanie. Pomimo większej komputeryzacji pojazd potrzebuje jednak do prawidłowej jazdy wspomaganie przez człowieka, ciągłej obserwacji działania, a także obecnej sytuacji na drodze. Kierowca jest zobowiązany do zachowywania stałe czujności, nie może powierzyć w pełni sterowania autem komputerowi. Takie rozwiązanie jest stosowane w większości nowoczesnych aut, produkowanych na przestrzeni kilku ostatnich lat [8, 9].

Według SAE poziom 2 zamyka część klasyfikacji, w której to człowiek decyduje o sposobie jazdy. Samochody należące do poziomów 0, 1 oraz 2 poruszają się obecnie po naszych drogach [7].

### **3.2. Gdy pojazd sam decyduje – poziomy 3-5**

Poziomy wyższej automatyzacji czyli od 3 do 5 nie są obecnie dostępne w produkcji seryjnej, a jedynie testowane przez zajmujące się tym firmy, co nie oznacza, że w najbliższych latach nie pojawią się w sprzedaży.

Poziom 3 (warunkowa automatyzacja) – dotyczy pojazdów, które posiadają na tyle rozwinięty system sterowania, aby decydować o trasie, a także rozpoznawać znaki drogowe, czy inne pojazdy; można porównać go do autopilota w samolocie. Pokładowe systemy są już więc w stanie przejąć wszelkie funkcje prowadzenia pojazdu, ale tylko w określonych przypadkach. Pomimo tak zaawansowanej automatyzacji osoba kierująca jest zmuszona do ciągłej kontroli auta, gdyż używany system może być zawodny, przez co nie wiadomo czy poradzi sobie w sytuacjach nieprzewidywalnych. Pojazd może więc poruszać się sam po drodze, jednak pod warunkiem czujności kierowcy [7], [8].



Poziom 4 (wysoka automatyzacja) – oznacza jazdę w pełni autonomiczną; pojazdy tu sklasyfikowane powinny być dostosowane do bezpiecznego poruszania się nawet w warunkach niesprzyjających, czy również wtedy, gdy zawodzi człowiek. Pojazdy funkcjonujące na tym poziomie komunikują się między sobą i informują się wzajemnie, np. o zmianie pasa ruchu, a kierowca nie musi stale obserwować otaczającego go ruchu na drodze. Oznacza to więc, że samochód może kontrolować wszystkie aspekty jazdy i działać bez interwencji człowieka, ale tylko pod pewnymi warunkami. Pamiętać jednak należy, że pomimo wysoko rozwiniętego poziomu automatyzacji osoba poruszająca się w tego rodzaju aucie powinna być przygotowana na ewentualne problemy, z którymi pojazd nie będzie potrafił sobie poradzić, więc człowiek stanie się znów kierowcą [7], [8].

Poziom 5 (całkowita automatyzacja) – poziom, do którego dążyło wielu konstruktorów już od początków motoryzacji. Dzięki systemom kierującym autem, człowiek z kierowcy staje się pasażerem i nie musi brać udziału w prowadzeniu pojazdu, ani wykonywać żadnych zadań związanych z prowadzeniem samochodu. Od zwykłych warunków, jakie panują na drodze, do pojawiających się nieprzewidywalnych zagrożeń, decyzję o zachowaniu się wobec sytuacji awaryjnych podejmuje tylko komputer [7], [8]. Pojazd sklasyfikowany na tym poziomie jest więc w pełni autonomiczny w każdych warunkach jazdy i nie wymaga udziału człowieka do działania [5].

#### **4. Systemy zapewniające bezpieczeństwo samochodu autonomicznego**

Przynależność danego pojazdu do jednego z wyżej wymienionych poziomów determinuje między innymi stopień zaawansowania systemów umożliwiających autonomiczną jazdę. W mniej rozwiniętych poziomach systemy bazują na przykład na zespołach czujników lub kamer. W poziomach wyższej automatyzacji potrzebujemy komunikacji, czyli mniej lub bardziej płynnej wymiany informacji oraz ciągłej i szybkiej interakcji pomiędzy poruszającymi się autami oraz autami z otoczeniem. Na powyższe elementy składają się systemy komunikacji z terenem (infrastrukturą przydrożną) (Vehicle to Infrastructure, V2I) oraz pomiędzy pojazdami (Vehicle to Vehicle, V2V) [10]. Wyróżnić ponadto można systemy komunikacji pojazdów z pieszymi (Vehicles to Pedestrians, V2P) oraz pojazdów z siecią komórkową (Vehicles to the Cellular Network, V2N). Razem te przypadki użycia są znane jako komunikacja pojazdów ze wszystkim (Vehicles to Everything, V2X) [11].

Wszystkie powyższe systemy działają na podstawie bezprzewodowej komunikacji. W wypadku, gdy pojawia się zagrożenie, pojazdy wysyłają sobie nawzajem informacje. Jednakże warunkiem bezpiecznego funkcjonowania

danych systemów jest posiadanie ich w każdym pojeździe znajdującym się na drodze [12].

Innymi sposobami, które zapewnią poruszanie się pojazdów autonomicznych jest wydzielenie specjalnych tras, bądź pasów ruchu przystosowanych tylko dla samochodów autonomicznych. Ma to na celu zapobiec wypadkom i usprawnić ruch, a także zmniejszyć korki na ulicach miast [10]. Dodać należy, iż dzięki jednoczesnemu zastosowaniu wspomnianych systemów V2I, V2V, a także oddzieleniu dróg dla pojazdów autonomicznych znacznie polepszy się bezpieczeństwo i komfort jazdy oraz zmniejszy się czas podróży i ilość spalin [12].

## 5. Przykłady pojazdów autonomicznych

Samochody w pełni autonomiczne nie są jeszcze dostępne na rynku, jednak pomimo tego wiele firm tworzy rozwiązania koncepcyjne w tym obszarze. Jednym z największych producentów jest Tesla, która w ostatnich latach wprowadziła do sprzedaży auta posiadające autopilota Model S oraz Model X. Dzięki zastosowaniu kamer, czujników ultradźwiękowych i radaru pojazd sam dobiera prędkość i tor jazdy, jednak potrzebuje stałej kontroli człowieka. Jak zapowiada producent ich samochody mają być w przyszłości w pełni autonomiczne, lecz obecnie nie pozwala na to technologia, ani prawo. W przyszłości auta Tesli mają być na tyle inteligentne, aby ustalić docelowe miejsce na podstawie danych z kalendarza lub informacji głosowej, a po opuszczeniu pojazd sam znajdzie miejsce do parkowania. Zintegrowana aplikacja w telefonie umożliwi powrót auta z parkingu do właściciela [13].

Kolejnym producentem samochodów, planującym stworzenie auta autonomicznego, jest Nissan; zaprezentował on już swój elektryczny samochód IDS Concept. Ideą tego pojazdu jest jazda wzorowana na sposobie jazdy danego kierowcy. Koncepcja Nissana zakłada również prowadzenie samochodu przez człowieka, z możliwością uruchomienia funkcji autonomicznej jazdy. Szczególnym elementem wyposażenia pojazdu jest kierownica, która znika po zmianie trybu jazdy na autonomiczny [14]. Wnętrze pojazdu zaprezentowano na rysunku 2.

Jak inni producenci Toyota także rozwija się w kierunku coraz większej autonomiczności samochodów; stworzyła bowiem auto o nazwie Platform 4. Producent ten zamierza od lipca do września 2020 roku testować swój prototyp, przez wybranych kierowców w Tokyo. Pojazd ten określony na czwartym poziomie autonomiczności ma zweryfikować sprawne działanie w trudnym, miejskim środowisku. Testy mają być prowadzone w zatłoczonej dzielnicy, w utrudnionych przez oszklone wieżowce warunkach [15].



Rys. 2. Wnętrze samochodu autonomicznego Nissan IDS Concept [14]

Z kolei Volkswagen tworząc swój koncepcyjny pojazd autonomiczny zamierza produkować samochód umożliwiający komfortową podróż – Volkswagen Sedric. Pojazd ma być przestronny, pozbawiony tradycyjnych elementów jak na przykład kierownica, czy nawet maska. Samochód ten ma być wykorzystywany do transportu dzieci, oraz ze względu na swoje duże wnętrze ułatwiający podróżowanie osobom niepełnosprawnym. Podobnie jak auto Tesli, prototyp Volkswagena ma sam znajdować miejsce na parking, po czym dzięki aplikacji w telefonie podjeżdżać do właściciela. Pojazd ten może również transportować zakupy [16].

Renault również przygotowuje się do nieuchronnie zbliżających się zmian. Twórcy rozwiązania koncepcyjnego przedstawili projekt auta, który ma być połączony z nowoczesnym, inteligentnym domem o nazwie Symbioz. Jak zapewnia producent pojazd ten jest częścią domu – mobilnym pokojem. Auto może poruszać się w pełni autonomicznie, ale Renault pozostawia również możliwość prowadzenia go przez człowieka. Innym przykładem pojazdu autonomicznego zaprojektowanego przez Renault jest EZ-GO, samochód miejski, przewożący do sześciu osób, z podjazdem dla osób niepełnosprawnych na wózkach. Auto ma mieć możliwość dostosowania swoich funkcji do potrzeb właściciela. Pojazd ma być bezpieczny dla pieszych, poprzez ostrzeganie ich sygnałami świetlnymi, a także dźwiękowymi [17].

Poza znanymi koncernami motoryzacyjnymi, także inni zajmują się projektowaniem aut autonomicznych. Jednym z rozwiązań jest Waymo – projekt utworzony przez Google w 2009 roku. Firma ta zajmuje się obecnie transportem osób, a także ładunków w pojazdach autonomicznych.

W Stanach Zjednoczonych w Phoenix East Valley można, po zainstalowaniu aplikacji na telefonie, zamówić coś w rodzaju autonomicznej taksówki, która dowiezie pasażera do celu bez potrzeby kierowania samochodem przez człowieka. W stanach Kalifornia i Arizona Waymo prowadzi także transport ciężarówkami [18].

## 6. Zastosowania samochodów autonomicznych

Jednym z ważnych zastosowań pojazdów autonomicznych jest ułatwienie transportu, a w konsekwencji szeroko rozumianej mobilności, grupom ludzi, które do tej pory były częściowo lub całkowicie wykluczone z udziału w życiu publicznym z powodu ograniczeń w poruszaniu się i były uzależnione od innych kierowców, np. osoby niepełnosprawne, starsze, dzieci czy osoby dorosłe bez prawa jazdy [19, 20]. Dlatego też, wprowadzając na rynek samochody autonomiczne wielu producentów, jak wcześniej wymienieni Volkswagen, czy Renault, w swoich planach zakładają m.in. udogodnienia dla osób na wózkach poprzez podjazdy [16, 17]. Ponadto możliwość poruszania się bez kierowcy, brak kierownicy, czy pedałów lub drążka do zmiany biegów jest sam w sobie dużym wsparciem dla osób z ograniczoną sprawnością, niewidomych, czy niemogących prowadzić pojazdów. Możliwość transportu autem nie potrzebującym udziału człowieka byłaby więc znacznym udogodnieniem dla takich osób [8].

Innym znaczącym zastosowaniem aut autonomicznych jest transport publiczny. Dzięki aplikacjom na telefon można bowiem zamówić samochód, który sam po nas przyjedzie, a następnie zawiezie nas tam, dokąd potrzebujemy, tak jak pojazdy oferowane przez Waymo [18]. Samochody autonomiczne mogą także przejąć funkcję komunikacji miejskiej. Kolejny projekt, tym razem testowany również w Polsce w 2019 roku, oferował kursy minibusa autonomicznego zgodnie z wyznaczonym rozkładem i trasą [21] (Rys. 3).

Poza transportem osób pojazdy autonomiczne mogą transportować też ładunki. Jednym z przykładów jest firma Volvo, której ciężarówki bez kierowców przewożą wapień na trasie pięciu kilometrów w norweskiej kopalni [23]. Również w Stanach Zjednoczonych pojawiły się autonomiczne ciężarówki. Jedna z firm kurierskich oraz Poczta Stanów Zjednoczonych w 2019 roku prowadziły testy ciężarówek przewożących listy i paczki [24].



Rys. 3. Olli – autonomiczny minibus [22]

Oczywistym zastosowaniem jest także wojskowość, gdzie różnego rodzaju pojazdy autonomiczne używane są od dawna. Dzięki bezzałogowym pojazdom armia ma możliwość transportu zaopatrzenia lub rannych w niebezpiecznych warunkach nie narażając życia i zdrowia innych żołnierzy [25].

## 7. Podsumowanie

Myśląc o samochodzie autonomicznym wyobrażamy sobie inteligentne pojazdy, które same decydują gdzie oraz jak mają się poruszać. Jednak nie zawsze jesteśmy świadomi, że pojazdy autonomiczne już jeżdżą po naszych ulicach. Producenci coraz częściej prezentują samochody bez kierowcy, a coraz więcej firm decyduje się na przeprowadzanie testów.

Do wprowadzenia w pełni autonomicznego pojazdu, oprócz rozwiniętej techniki, potrzebujemy dobrze sprecyzowanego prawa. Jednak przede wszystkim to społeczeństwo powinno się przygotować na zmiany. W obecnych warunkach drogowych wprowadzenie komercyjnych pojazdów całkowicie autonomicznych mogło by stać się poważnym zagrożeniem dla zdrowia i życia ludzi, jednak pomimo tego spotykamy się z zastosowaniami tych aut w transporcie publicznym, czy w wojsku.

Idea poprawy bezpieczeństwa, a także zwiększenia komfortu podróży nieuchronnie zbliża producentów do prezentowania swoich rozwiązań w bardziej zaawansowanych technicznie samochodach. Każda firma w swój własny sposób zamierza dotrzeć do potrzeb klientów.

## Literatura

- [1] <https://dariuszstasik.com/pojazdy-autonomiczne/> (dostęp 24.04.2020).
- [2] Chan Ch., *Advancements, prospects, and impacts of automated driving systems. International Journal of Transportation Science and Technology*, nr 6, 2017, s. 208–216.
- [3] Wieliczko M. M., *Autonomiczne auta – wizja niedalekiej przyszłości*, Autobusy, nr 3, 2019, s. 41–44.
- [4] Jarocki Ł., Jurczenia K. *Regulacje prawne odnoszące się do testowania samochodów autonomicznych na drogach publicznych w Polsce i Kalifornii*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Rzeszowskiego, Zeszyt 107, 2019, s. 211–226.
- [5] SAE International, *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-road Motor Vehicles*, Washington, 2016.
- [6] <http://articles.sae.org/15021/> (dostęp 30.03.2020).
- [7] Neumann T. *Perspektywy wykorzystania pojazdów autonomicznych w transporcie drogowym w Polsce*, Autobusy, nr 12, 2018, s. 787–794.
- [8] Stasiak-Cieślak B., Szczepański T., Ślęzak M., Skarbak-Żabkin A., Malawko P. *Pojazdy autonomiczne jako ułatwienie mobilności kierowców z niepełnosprawnością*, Niepełnosprawność – zagadnienia, problemy, rozwiązania, nr II(27), 2018, s. 7–15.
- [9] Panagiotopoulos I., Dimitrakopoulos G., *An empirical investigation on consumers' intentions towards autonomous driving*. *Transportation Research Part C* 95, 2018, s. 773–784.
- [10] Przybysz K., *Infrastruktura przystosowana do pojazdów autonomicznych*, Materiały III Krakowskiej Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej Transportu „KOKONAT”, Kraków 21-22 kwietnia 2016, s. 209–213.
- [11] Casey J.P., *The future of autonomous vehicles*: <https://www.roadtraffic-technology.com/comment/future-autonomous-vehicles/> (dostęp 24.04.2020).
- [12] Owczarzak Ł., Żak J., *Koncepcja transportu publicznego na żądanie w oparciu o wykorzystanie samochodów autonomicznych*, *Logistyka* nr 2, 2015, s. 674–685.
- [13] [https://www.tesla.com/en\\_EU/autopilot?redirect=no](https://www.tesla.com/en_EU/autopilot?redirect=no) (dostęp 24.04.2020).
- [14] <https://www.nissan.pl/experience-nissan/samochod-koncepcyjny/ids-concept.html> (dostęp 10.05.2020).
- [15] <https://www.toyota.pl/articles/2019/tri-platform-4> (dostęp 10.05.2020).
- [16] <https://www.volkswagenag.com/en/news/stories/2018/02/sedric-the-future.html#> (dostęp 24.04.2020).
- [17] <https://www.renault.pl/samochody-koncepcyjne.html> (dostęp 30.03.2020).
- [18] <https://waymo.com/> (dostęp 30.03.2020).

- [19] Sparrow, R., Howard, M., *When human beings are like drunk robots: driverless vehicles, ethics, and the future of transport*, Transportation Research Part C: Emerging Technologies 80, 2017, s. 206–215.
- [20] Meyer, J., Becker, H., Bösch, P.M., Axhausen, K.W., *Autonomous vehicles: the next jump in accessibilities?*, Research in Transportation Economics, 62, 2017, s. 80–91.
- [21] <https://www.sohjoabaltic.eu/pl/> (dostęp 10.05.2020).
- [22] <https://portalkomunalny.pl/pojazd-olli-333301/> (dostęp 30.03.2020).
- [23] <https://www.volvotrucks.pl/pl-pl/news/press-releases/2018/nov/pressrelease-181120.html> (dostęp 30.03.2020).
- [24] <https://www.cargonews.pl/autonomiczne-ciezarowki-juz-jezdza-po-drogach-a-my-nawet-o-tym-nie-wiemy/> (dostęp 30.03.2020).
- [25] Baszuk K., Szczęch L., *Rozwiązania pojazdów bezzalogowych*, Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej rok LI, nr 4 (183), 2010, s. 7–12.

## **Lukasz GAJOWIK**

Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Elektrotechnika

# **WYKORZYSTANIE STEROWNIKA PLC DO KONTROLI PRACY PODAJNIKA WRAZ Z SEGREGACJĄ MATERIAŁU**

## **1. Wstęp**

Proces segregacji materiału wykorzystywany jest w wielu gałęziach przemysłu. Segregacji poddawane są materiały już we wstępnym procesie produkcji. Niezbędny w takim procesie jest zespół urządzeń, wykrywający cechy materiału, które pozwalają podjąć odpowiednie działania mające na celu oddzielenie od siebie tych materiałów.

Proces segregacji jest skomplikowanym procesem, przez co niezbędna jest jego ciągła kontrola. Do kontroli procesów przemysłowych najczęściej stosowane są sterowniki PLC. Sterowniki te używane są wszędzie tam, gdzie występują sygnały elektryczne oraz potrzebne jest niezawodne sterowanie [1].

W niniejszym artykule przedstawiono przykładowe zastosowanie sterownika PLC, który kontroluje pracę podajnika taśmowego wraz z segregacją materiału. Model składa się ze sterownika Siemens S7-1200 DC/DC/DC, zestawu czujników, silników napędzających dwa przenośniki oraz z układu pneumatycznego.

## **2. Przenośniki w procesie segregacji**

Przenośniki – urządzenia służące do transportu materiałów na określone odległości, biegnące po wytyczonym torze. Znajdują zastosowanie nie tylko w przemyśle górniczym (transport urobku), ale są także wykorzystywane w przemyśle spożywczym i wytwórczym.

Podajniki składają się przede wszystkim z ramy, części ruchomych, napędu (są to elementy mechaniczne). Częściami elektrycznymi są: elementy pomiarowe, sygnalizacyjne, które zazwyczaj połączone zostają z głównym modułem sterowniczym [2].

Aby w pełni wykorzystać możliwości przenośników, elementy poruszające się po taśmie poddawane są różnym czynnościom technologicznym. Jednym z rodzajów takich czynności jest sortowanie. Przenośnik, wyposażony w specjalne czujniki i detektory, może poddawać segregacji detale ze względu na ich rozmiar, barwę, wagę czy rodzaj materiału. Na rysunku 1 widnieje



przenośnik taśmowy wykorzystany do budowy modelu podajnika wraz z segregacją materiału.



Rys. 1. Widok przenośników taśmowych

## 2.1. Rodzaje przenośników

Podział przenośników pod względem typu członu transportującego:

- ciągnowe – gdzie transport odbywa się przy pomocy cięgna,
  - bezcieżnowe – gdzie transport odbywa się bez użycia cięgna.
- Szczegółowy podział przedstawiony jest na rysunku 2.



Rys. 2. Szczegółowy podział przenośników [4]

## 2.2. Modułowość przenośnika taśmowego

Najbardziej znanym przenośnikiem jest przenośnik taśmowy, cechujący się prostą budową oraz dużym stopniem niezawodności [3]. Może on posiadać budowę modułową, co pozwala na dodawanie elementów nadzorujących i wykonawczych w dowolnym momencie, nawet po uruchomieniu stanowiska.

Ładowność przenośnika zależy przede wszystkim od kształtu korytka taśmy, gęstości materiału i kąta załadunku. Ze względu na wymienione parametry możliwe jest dobranie właściwego kształtu korytka dla rodzaju transportowanego towaru [3].

Napęd przenośników taśmowych zapewniają silniki elektryczne. Moce i przekładnie tych silników dostosowane są do typu pracy układu. Silnik sprzężony z rolką napędową napędza rolkę napinającą przy pomocy taśmy. Aby zapewnić poprawną pracę podajnika, wykorzystuje się elementy napinające taśmę, takie jak: napinacze sprężynowe, grawitacyjne, hydrauliczne i pneumatyczne. Stosowanie takich rozwiązań pozwala utrzymać odpowiednio naciągniętą taśmę, która dzięki temu, nie ulega zniekształceniu i znacznemu zużyciu.

Wykorzystanie pełnych możliwości podajników taśmowych nie byłoby możliwe bez zastosowania członu sterującego całym procesem technologicznym [2]. Przykładem takiego elementu sterującego jest sterownik PLC.

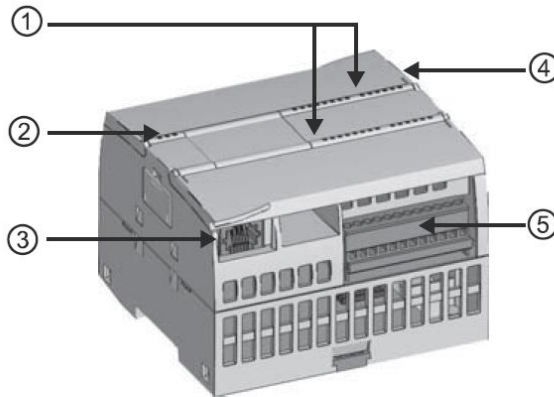
### **3. Sterownik PLC jako element nadzorujący pracę podajnika**

Podstawowymi elementami występującymi w układach sterowania maszyn są sterowniki programowalne PLC. Dzięki nim można tworzyć złożone algorytmy działania procesów technologicznych. Sterowniki te na podstawie wgranego kodu programu oraz stanu wejść, generują sygnały wyjściowe, które trafiają do elementów wykonawczych. Takimi elementami są: silniki, siłowniki, sygnalizatory [5].

Najbardziej rozpoznawalnymi producentami sterowników PLC jest: Siemens, Schneider Electric oraz Mitsubishi.

Siemens S7-1200, posiadający niewielkie wymiary, dużą wydajność znajduje zastosowanie przy realizacji mało ale i również bardziej skomplikowanych procesów technologicznych. Składa się z CPU (ang. *Central Processing Unit*), której główną częścią są obwody wejściowe oraz wyjściowe. Jednostka centralna może połączyć się z programatorem – zazwyczaj komputerem PC, który posiada specjalne oprogramowanie przeznaczone do programowania i obsługi sterownika. Port PROFINET, umieszczony w dolnej części sterownika umożliwia komunikację poprzez sieć PROFINET/Ethernet. Na rysunku 3 przedstawiony jest sterownik S7-1200.

Języki programowania zawarte są w normie IEC 61131-3 [7]. Wyróżnia się dwa języki graficzne (LAD i FBD) i dwa tekstowe (ST i IL).



- ① Diody LED statusu wbudowanych portów I/O
- ② Diody LED statusu operacyjnego CPU
- ③ Złącze PROFINET
- ④ Slot karty pamięciowej (pod klapką)
- ⑤ Rozpinane złącza na kable

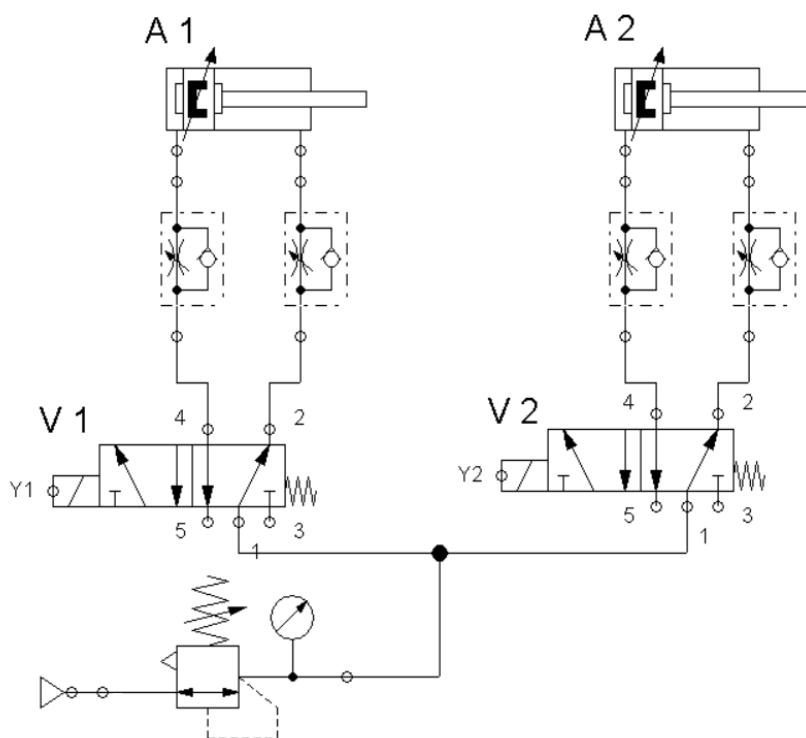
Rys. 3. Budowa sterownika S7-1200 [6]

#### 4. Pneumatyka w procesie segregacji

Niezwykle przydatny w procesie segregacji jest układ pneumatyczny. Jego główną zaletą jest siła jaką potrafią wytworzyć siłowniki pneumatyczne, jak również praca bez wytwarzania szkodliwych zanieczyszczeń powietrza. Odpowiednie dobranie elementów pneumatycznych pozwala zastąpić energochłonne układy elektryczne.

Układ pneumatyczny składa się z zespołu przygotowania powietrza (sprężarka, filtry, regulatory), elementów sterujących przepływem czynnika, sprężonego powietrza (zawory rozdzielające, dławiąco-zwrotne, szybkiego spustu) i elementów wykonawczych (siłowniki, silniki).

Rysunek 4 przedstawia schemat układu pneumatycznego, wykorzystanego przy procesie segregacji materiału. Gdzie, A1, A2 – siłownik pneumatyczny dwustronnego działania, z jednostronnym tłoczyskiem, V1, V2 – zawór elektropneumatyczny 5/2.



Rys. 4. Schemat pneumatyczny podajnika wraz z segregacją materiału

## 5. Projekt modelu podajnika taśmowego sterowanego za pomocą sterownika PLC

Zasada działania: Model podajnika taśmowego ma wykonywać proces segregacji. Sortowaniu poddawane są niskie i wysokie elementy. Oddzielane części, poruszające się na taśmie, wykrywane przez czujniki zbliżeniowe, zostają zrzucone za pomocą siłowników pneumatycznych do odpowiednich pojemników.

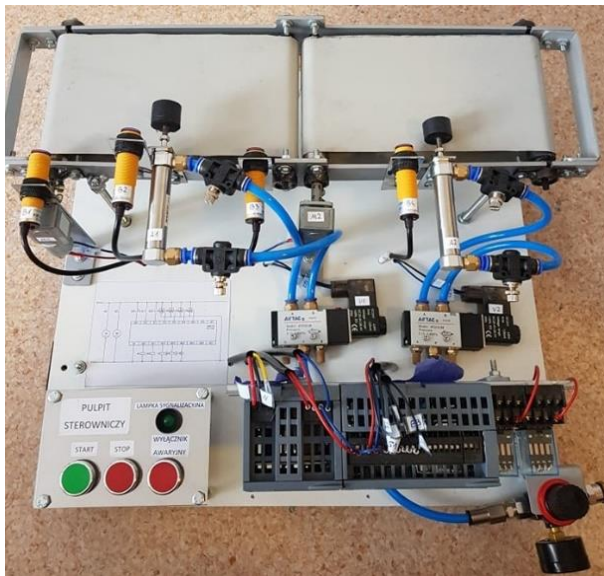
### 5.1. Założenia projektowe

Do poprawnego działania układu, należy:

- określić wymiary gabarytowe stanowiska i podajnika taśmowego,
- dobrać rodzaj materiałów elementów konstrukcyjnych,
- dobrać silnik napędowy o odpowiedniej przekładni,
- dobrać właściwe czujniki zbliżeniowe,

- dobrać siłownik pneumatyczny służący do segregacji elementów,
- dobrać właściwy sterownik PLC,
- dobrać właściwy zawór elektropneumatyczny,
- dobrać umiejscowienie pulpitu sterowniczego,
- dobrać właściwe zasilanie stanowiska,
- dobrać właściwe umiejscowienie czujników zbliżeniowych,
- dobrać właściwą rolkę napędową i bierną,
- dobrać właściwą taśmę transportującą,
- dobrać prędkość przesuwu taśmy.

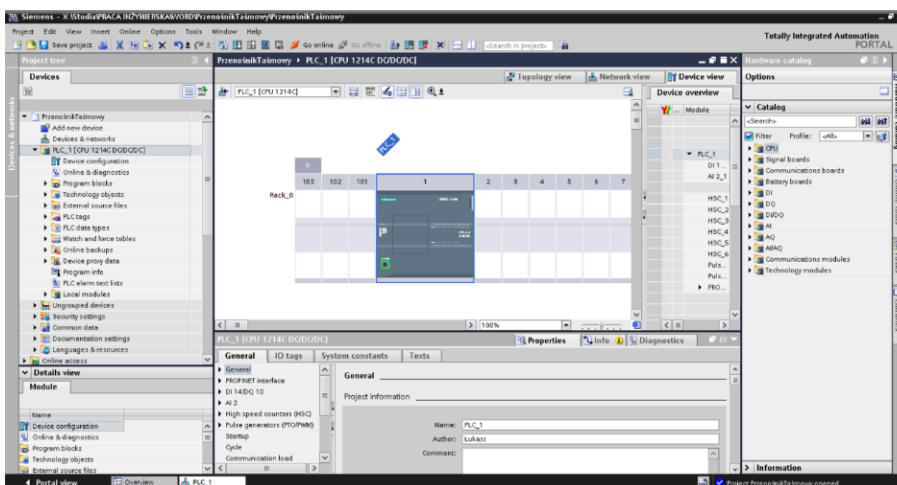
Zbudowany model funkcjonuje jak system rzeczywistych rozmiarów. Na rysunku 5 widnieje model przenośnika taśmowego.



Rys. 5. Wygląd modelu przenośnika taśmowego

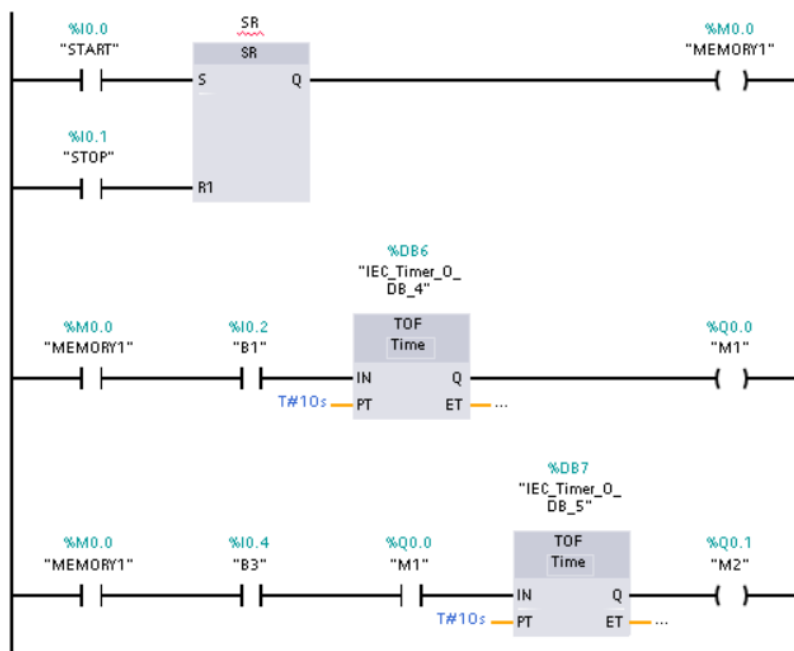
## 5.2. Programowanie sterownika PLC w TIA Portal

Zastosowanie wielu urządzeń w jednym procesie, które wymieniają między sobą informacje, wymaga użycia środowiska pozwalającego na poprawne zintegrowanie tych urządzeń. Takim środowiskiem jest program TIA Portal firmy Siemens. Okno programu, widoczne na rysunku 6, jest w pełni intuicyjne i zawiera kilka paneli służących do tworzenia kodu programu. Program ten pozwala na komunikację ze sterownikiem i konfigurację zastosowanych modułów.

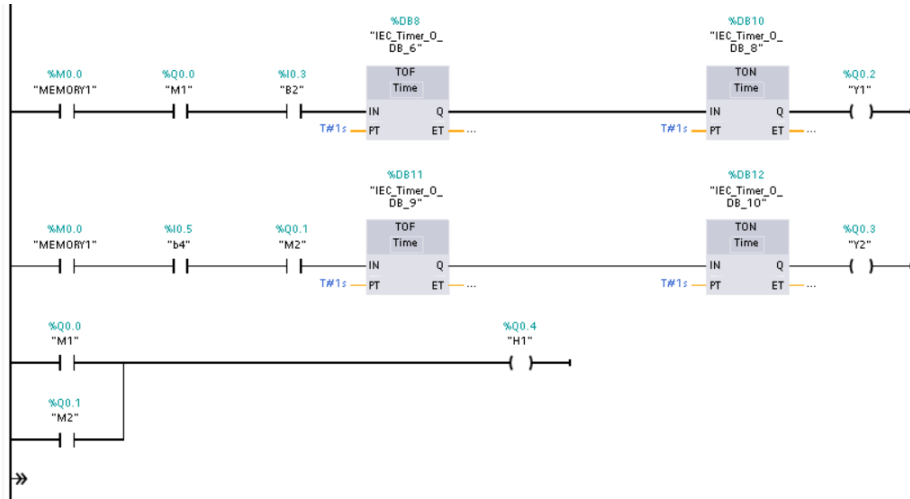


Rys. 6. Okno programu TIA Portal

Kod programu został stworzony w języku LAD. Jest to najczęściej stosowany język programowania sterowników PLC w branży elektrycznej. Rysunek 7 i 8 przedstawia kod programu przeznaczony do kontroli pracy podajnika wraz z segregacją materiału.



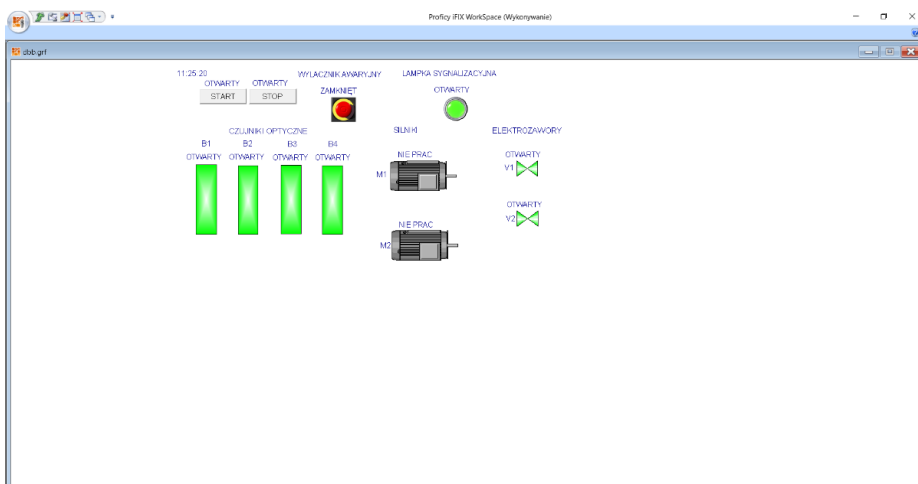
Rys. 7. Kod programu do kontroli pracy podajnika wraz z segregacją materiału, część 1



Rys. 8. Kod programu do kontroli pracy podajnika wraz z segregacją materiału, część 2

### 5.3. Wizualizacja działania modelu w programie IFIX 5.8

Narzędzie Proficy HMI SCADA iFIX 5.8 służy do wizualizacji i sterowania procesami technologicznymi [8]. Na rysunku 9 widnieje wizualizacja operacji segregacji materiału. Oprócz wizualizacji, okno programu pozwala na sterowanie elementami układu z dowolnego miejsca, z poziomu ekranu. Widoczne czujniki, silniki, zawory, przyciski i lampy obrazują rzeczywisty stan elementów.



Rys. 9. Widok okna procesu technologicznego w iFIX 5.8

## 6. Podsumowanie i wnioski

Sterowniki PLC są urządzeniami, które z powodzeniem zastąpiły przestarzałe układy stycznikowo-przełącznikowe. Mogą one sterować prostymi oraz rozbudowanymi procesami technologicznymi, łączącymi pracę takich komponentów jak silniki elektryczne, czujniki i siłowniki pneumatyczne.

Zastosowana jednostka Siemens S7-1200 jest kompatybilna z programem TIA Portal, który umożliwia projektowanie automatyki przemysłowej. Praca w tym środowisku jest intuicyjna i pozwala na wprowadzanie zmian w programie bez konieczności modyfikacji układu połączeń elektrycznych.

Przenośniki taśmowe, posiadające budowę modułową, mogą być poddawane modyfikacjom nie tylko w momencie montażu układu, ale również w dowolnej chwili po pierwszym uruchomieniu stanowiska.

Zastosowane czujniki optyczne, oraz modułowy sposób ich montażu pozwalają na dostosowanie ich lokalizacji do wielkości segregowanych elementów. Stosowanie układów pneumatycznych poszerza możliwości rozwiązywania problemów technologicznych.

## Literatura

- [1] Majcher J., *Model of a sliding gate controlled by a PLC driver*, Poznan University of Technology Academic Journal, Electrical Engineering nr 99, 2019, s. 191–199.
- [2] Bargieł K., Noga K. M., *Zastosowanie układów programowalnych do obsługi modelu przenośnika taśmowego*, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej nr 31, 2012, s. 27–30.
- [3] Chomka G., Kasperowicz M., *Wykorzystanie systemów CAD w projektowaniu przenośników transportowych*, Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, nr 15/6, 2014, s. 89–94.
- [4] Schemat wzorowany na przykładzie dostępnym pod adresem: [http://lbt.pk.edu.pl/images/dydaktyka/pomoce/stb/STB\\_w03\\_przenosniki.pdf](http://lbt.pk.edu.pl/images/dydaktyka/pomoce/stb/STB_w03_przenosniki.pdf) (dostęp 19.11.2019).
- [5] Kasprzyk J., *Sterowniki PLC*, Uniwersytet Rzeszowski, Katedra Mechatroniki i Automatyki, Rzeszów 2013.
- [6] Siemens, *Simatic S7. Programowalny sterownik S7-1200. Podręcznik systemu*, Wydanie 04/2009.
- [7] [http://automatyka.kia.prz.edu.pl/attachments/article/13/Sterowniki\\_IEC61131-3.pdf](http://automatyka.kia.prz.edu.pl/attachments/article/13/Sterowniki_IEC61131-3.pdf) (dostęp 19.11.2019).
- [8] <https://www.vix.com.pl/wp-content/uploads/proficy-hmi-scada-ifix-5-8-pl-niezawodnosc-w-nowej-polskiej-wersji.pdf> (dostęp 10.01.2020).



**Weronika GŁOWIENKA<sup>1</sup>, Martyna JAROSZ<sup>1</sup>, Monika STOMA<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Studenckie Koło Naukowe Zarządzania i Ekonomii, kierunek Zarządzanie i Inżynieria Produkcji

<sup>2</sup> Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ORCID:0000-0003-0404-699X

## **TECHNOLOGIA RFID – KONCEPCJA I ZASTOSOWANIE**

### **1. Wprowadzenie**

Obecnie, niemal każdy obszar i dziedzina naszego życia rozwijają się dość dynamicznie. Chcemy w jak największym stopniu ułatwiać sobie życie i je usprawniać. Staje się to bodźcem do powstawania nowych technologii, które są coraz bardziej zaawansowane i działają bez większej ingerencji człowieka.

Jedną z tych technologii jest technologia RFID, czyli systemy zdalnej identyfikacji radiowej (*Radio Frequency Identification*). Pozwala ona na lepszą organizację pracy i na sprawniejszą identyfikację produktów. Technologia ta staje się coraz bardziej popularna, m.in. dzięki możliwości jej zastosowania w wielu dziedzinach.

Stąd też, celem, pracy jest przedstawienie problematyki technologii RFID, ze szczególnym uwzględnieniem historii powstawania i rozwoju tej technologii, zasad jej działania oraz możliwości zastosowania radiowej identyfikacji w różnych sferach i branżach współczesnego życia społeczno-gospodarczego.

### **2. Historia RFID**

Za początek historii technologii RFID można uznać rok 1886, kiedy to Frederick Hertz badał koncepcję wykorzystania częstotliwości fali radiowej i jej odbicia od obiektu [1]. To dzięki tym badaniom możliwe stało się powstanie radiowej identyfikacji. Niemniej jednak potrzeba było jeszcze wielu dekad, żeby powstały pierwsze urządzenia podobne do tych nowoczesnych.

Jeszcze przed rozpoczęciem konfliktu zbrojnego w 1935 roku został wynaleziony pierwszy radar oparty na pierwotnej technologii RFID. Jego twórcą był szkocki fizyk Sir Robert Alexander Watson-Watt. W równoległym okresie nad tą koncepcją pracowały również inne kraje. Niektóre źródła donoszą, że niemieccy uczeni opracowali swój radar w tym samym czasie. Urządzenie to miało za zadanie wykrywanie obiektów latających w przestrzeni powietrznej. Niestety ich wadą była niezdolność do odróżnienia swoich samolotów od nieprzyjaciela. Jednakże i na ten feler znalazło się rozwiązanie, które usprawniło

pracę radaru; tym rozwiązaniem było wykonywanie tzw. „beczki”, czyli akrobacji powietrznej. Powodowało to zmianę sygnału, co pozwalało odróżnić samoloty. Był to pierwszy pasywny system identyfikacji radiowej [2].

Zaś aktywny model tego systemu opracowali Brytyjczycy. Był to system IFF czyli *Identify Friend or Foe* (przyjaciel lub wróg) [3], [4]. W samolotach umieszczane były nadajniki, które odbierały sygnał z wieży kontrolnej i nadawały swój sygnał, co pozwalało na sprawniejszą identyfikację. Systemy IFF stały się więc podstawą do stworzenia obecnie funkcjonujących systemów radiowej identyfikacji [5]. Jednakże zarówno systemy pasywne, jak i aktywne, znalazły swoje zastosowanie obecnie, w wielu branżach życia społeczno-gospodarczego [2].

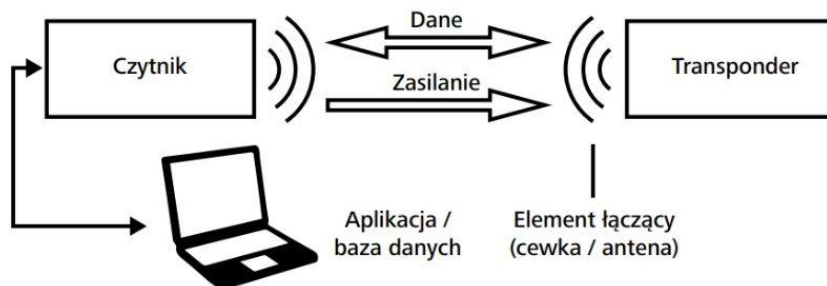
### 3. Istota i sposób działania technologii RFID

Istotą technologii RFID jest z informatyzowanie sposobu wprowadzania informacji o produkcie do bazy danych. Ten system pozwala przy użyciu fal radiowych na identyfikację obiektów oraz bezprzewodowe kodowanie i przesyłanie danych informacyjnych. Dzięki temu możliwy jest stały dostęp do wiadomości zawartych w nośniku [6]. Układ ten może być umieszczony na dowolnym materiale (np. folia, papier) oraz może być w dowolnym kształcie. Jego istota polega na śledzeniu np. produktu w całym łańcuchu dostaw, zapisie w pamięci etykiety istotnych informacji o zapakowanym produkcie i dostarczanie ich konsumentowi. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu bardzo cienkiego układu scalonego zintegrowanego z etykietą, zawierającego transponder z 256-bitową pamięcią. Technologia RFID jest więc lepszą i wygodniejszą alternatywą kodów kreskowych, ponieważ może zawierać więcej danych i dotyczy pojedynczego produktu.

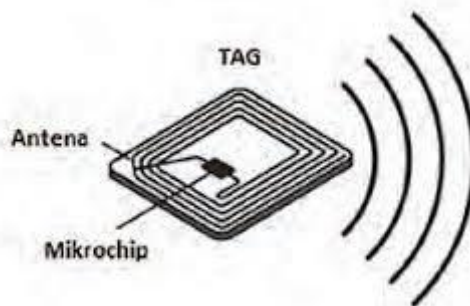
Najprostszy system składa się z czterech elementów, tj., znacznika, anteny, czujnika i kontrolera. W chwili gdy znacznik znajdzie się w polu działania czujnika, jest on pobudzany i wysyła falę radiową do znacznika. Wtedy znacznik wysyła do czujnika zakodowane informacje, które są następnie dekodowane i przesyłane do współpracujących urządzeń, co w konsekwencji umożliwia odczyt informacji (Rys. 1).

Etykieta z nośnikiem danych oraz anteną umieszczana jest na danym produkcie. Antena znajduje się również w czytniku, co pozwala na swobodne odbieranie i przesyłanie danych za pomocą fal radiowych. Anteny umieszczone w etykietach bądź znacznikach mają do kilku centymetrów i są bezpośrednio połączone z mikroukładem (Rys. 2). Zaś anteny w czytnikach zazwyczaj podłączone są jako osobne urządzenie.

W Europie moc sygnału emitowanego przez antenę jest mierzona w jednostkach ERP (*Effective Radiated Power*), natomiast w Stanach Zjednoczonych w jednostkach EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*). Maksymalna moc anteny jest regulowana odpowiednimi przepisami prawa.



Rys. 1. Schemat systemu RFID [7]



Rys. 2. Schemat znacznika z anteną [8]

Zasada działania czytnika RFID nie jest więc zbyt skomplikowana, ponieważ urządzenie to przechwytuje fale radiowe znajdujące się w jego eterze. Po odebraniu danych interpretuje i zapisuje je, a w kolejnym kroku przekazuje je do systemu informatycznego. Posiada również zdolność przesyłania danych do drukarek RFID, które drukują inteligentne etykiety. W odróżnieniu od kodów kreskowych wykorzystanie technologii RFID pozwala ponadto na identyfikację etykiet z odległości do kilkudziesięciu cm lub nawet kilku m od anteny czytnika.

Niestety pomimo największej zalety tej technologii, jaką niewątpliwie jest szybkie odczytywanie informacji z tagów czy też inteligentnych etykiet, istnieje również ryzyko przechwytywania niechcianych przez użytkownika informacji, znajdujących się w obszarze zasięgu urządzenia [6].

W tabeli 1 zestawiono rodzaje czytników RFID, podając ich zasięg oraz możliwości zastosowania.

Tabela 1. Przykładowe rodzaje czytników RFID [9]

Rodzaj czytnika RFID	Zasięg czytnika	Przykładowe zastosowanie
Czytniki RFID biurowe	1–5 cm	– identyfikacja osób – ewidencja dokumentów – rejestracja czasu pracy
Stacjonarne bramy RFID	1–15 m	– magazyny – logistyka – handel detaliczny
Przemysłowe czytniki RFID	1–12 m	– odczyt znaczników RFID na produktach – identyfikacja urządzeń i pojazdów – kontrola ruchu w zakładzie
Kolektory danych RFID (terminal RFID)	0,3–5 m	– inwentaryzacja – identyfikacja pacjentów – handel hurtowy i detaliczny

#### 4. Pozytywne i negatywne aspekty identyfikacji radiowej

Jak już wcześniej wspomniano, technologia RFID – tak samo jak każda inna – ma swoje dobre, jak i złe strony. Jednakże zalety tego systemu przewyższają jego wady, co sprawia, że w ogólnym rozrachunku technologia ta zyskuje popularność. Główną zaletą tego układu jest jego odporność na niekorzystne warunki (wysokie, niskie temperatury, ciśnienie, wilgoć i zabrudzenia). Zależy to od specyfikacji, typu czy rodzaju produktów, które przechowywane są w różnoraki sposób bądź sam proces transportu. Przykładem mogą być chłodnie przemysłowe. Jest to główny powód, dla którego inteligentne etykiety są lepszym rozwiązaniem niż tradycyjne kody kreskowe [10].

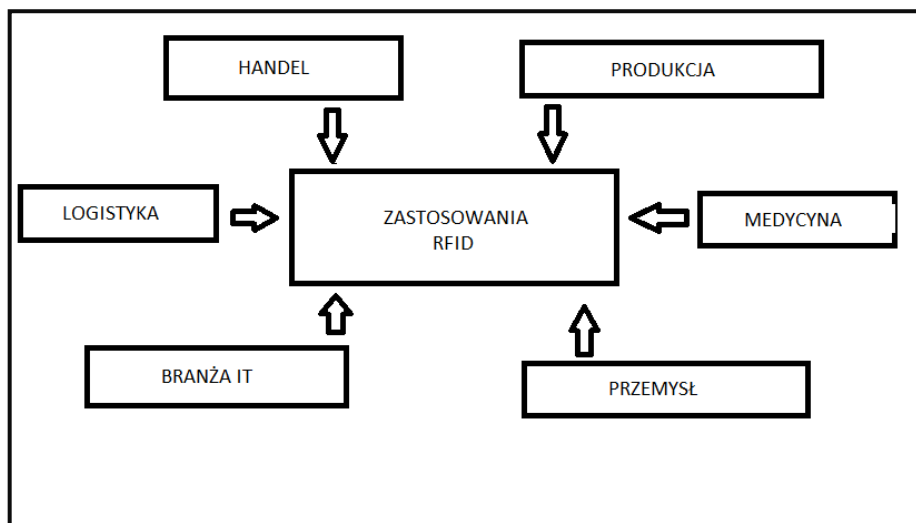
Kolejną zaletą jest redukcja czasu pracy i eliminacja możliwości błędu człowieka. Technologia ta umożliwia bowiem szybszy i sprawniejszy odczyt informacji, a zarazem niweluje ryzyko błędu. I znów odnosząc się do tradycyjnych kodów kreskowych - technologia ta przeważa nad nimi dlatego, że użytkownik nie musi precyzyjnie nakierowywać skanera kodów kreskowych; wystarczy tylko, że przedmiot znajduje się w obszarze zasięgu czytnika, co zaoszczędza czas. Poza tym czytniki są w stanie odczytać większą ilość tagów.

Dużą zaletą jest również możliwość kodowania dużej ilości danych w tagu. Można umieścić w nim bowiem różne informacje, do których należą między innymi: sposób transportu produktu, jego pochodzenie i obecna lokalizacja, a także szczegółowy opis składników, temperatura czy sposób przechowywania.

Do innych korzyści wynikających z zastosowania technologii RFID zaliczyć również można [11], [12]:

- większą szybkość obsługi odczytu,
- możliwość wykorzystania tych samych metek radiowych w całym łańcuchu dostaw,
- bezpieczeństwo informacji o produkcji,
- możliwość automatycznego identyfikowania nie tylko rzeczy, ale również ludzi, a nawet zwierząt; przy jednoczesnej możliwości identyfikowania wielu obiektów jednocześnie.

Dodać należy ponadto, iż technologia ta jest funkcjonalna; znajduje bowiem swoje zastosowanie w wielu dziedzinach technologii i sferach życia, co zaprezentowano na rysunku 3.



Rys. 3. Zastosowanie technologii RFID [2], [11]

Jako inne, niż przedstawione na rysunku 3, przykłady możliwości zastosowania technologii RFID można podać m.in.: telemetrię (badanie stanu dróg, mostów czy natężenia ruchu), sport (opaski używane przez sportowców, umożliwiające rejestrowanie czasu biegu), a nawet podstawowe aspekty życia codziennego (bilety na basen, elektroniczne karty) [2].

Pomimo swojego szerokiego zastosowania technologia RFID, jak już wspomniano, nie uniknęła również pewnych wad czy ograniczeń, których dotychczas nie dało się wyeliminować.

Główną wadą jest koszt wdrożenia tego systemu, aczkolwiek w długofalowej perspektywie okazuje się, że koszt ten nie jest aż tak duży. Trzeba jednakże pamiętać, że jednorazowa inwestycja może być kłopotliwa dla

niektórych przedsiębiorstwach [11]. Dlatego nie wszystkie firmy mogą sobie pozwolić na zastosowanie systemu identyfikacji radiowej w praktyce pomimo korzyści z niej płynących.

Kolejnym kłopotliwym negatywnym aspektem stosowania technologii RFID jest, wcześniej już wspomniana, możliwość odczytywania niechcianych tagów, które znajdują się w zasięgu czytnika. Może to powodować różnorakie problemy. Ciężko jest wyeliminować tą wadę systemową. Czytnik nie jest bowiem w stanie odróżnić właściwych tagów od tych niepożądanych.

Następną wadą jest niebezpieczeństwo związane z przechwyceniem danych informacyjnych przez nieodpowiednie jednostki. Ryzyko to istnieje, gdy dane urządzenie nie jest zabezpieczone kodem dostępu [13].

Kolejnym ograniczeniem jest zakłócanie częstotliwości fal radiowych przez niektóre przedmioty, głównie metale. Istnieje oczywiście możliwość eliminacji tego błędu przez ustawienie poprawnie częstotliwości. Jednakże, aby ten zestaw działał sprawnie potrzebne jest oprogramowanie informatyczne sprzężające oba te systemy. Niestety zakup takiego oprogramowania jest dość wysoki.

Nie należy również zapominać o inwigilacji pracowników, która często jest prowadzona bez ich zgody. Może to negatywnie wpływać na ich poczucie bezpieczeństwa oraz swobody. Ponadto ciągła kontrola źle wpływa na efektywność pracy oraz ogólne samopoczucie siły roboczej [14].

## **5. Praktyczne zastosowania technologii RFID**

### **5.1. Logistyka**

W obecnych czasach świat stawia na rozwój technologii oraz logistyki. Ludzkość wciąż pędzi do przodu, co powoduje wdrażanie wciąż bardziej innowacyjnych metod o charakterze informacyjnym. Logistyka to dziedzina, która zawiera w sobie wiele elementów takich jak: planowanie, magazynowanie, transport, zarządzanie. Tak więc technologia RFID znajduje przede wszystkim w tym obszarze swoje możliwości.

Dużą rolę odgrywa ona w identyfikacji produktów. Do momentu wprowadzenia RFID możliwe było oznaczenie tylko konkretnej partii produktu. Zaś dzięki technologii RFID możliwe jest nadanie indywidualnego numeru dla każdego egzemplarza, dzięki czemu możliwa jest sprawniejsza identyfikacja produktu. Ułatwia to również procesy produkcyjne i logistyczne w dalszej dystrybucji. Wraz z połączeniem z RFID możliwa jest lepsza identyfikacja oraz łatwiejszy dostęp do już zapisanych danych. Poprawia to efektywność współpracy pojedynczych ogniw łańcucha dostaw.

Magazyny zazwyczaj mają dużą powierzchnię i dlatego potrzeba dobrej organizacji pracy, aby zadania były wykonywane w sposób efektywny. Praca

magazynu ma bardzo duże znaczenie dla całej produkcji. Właśnie, dlatego w tych miejscach wprowadzane są coraz nowsze systemy informatyczne aby tą pracę usprawnić. W końcu przedsiębiorstwa nie mogą pozwolić sobie na to, aby produkcja się nie odbywała ze względu na złą organizację magazynu. W przedsiębiorstwie każdy kolejny element musi się bowiem ze sobą zgrywać, aby można było wypracowywać zyski. Właśnie ze względu na te wszystkie czynniki stosuje się połączenie technologii RFID i ERP.

ERP (*Enterprise Resource Planning*) to zestaw narzędzi informatycznych, który umożliwia zarządzanie zasobami organizacji oraz kontrolę procesów biznesowych w czasie rzeczywistym (Rys. 4). Do właściwości systemów ERP zalicza się otwartość i elastyczność. Otwartość oznacza możliwość integracji z innymi systemami, usługami internetowymi i urządzeniami mobilnymi. Elastyczność polega natomiast na zmianie konfiguracji systemu w celu dostosowania do zmieniających się wymagań i praktyk biznesowych [15].



Rys. 4. System ERP [16]

To dzięki otwartości system ERP i technologia RFID tworzą kompatybilny zestaw do organizacji pracy. Za pomocą metki obiektu bądź etykiety oba systemy dają możliwość uzyskania informacji, gdzie przebywa lub przemieszcza się obiekt w czasie rzeczywistym. Inteligentne etykiety ponownie są dużo lepszym rozwiązaniem niż tradycyjne kody kreskowe, ponieważ ta sama etykieta może być użytkowana w całym łańcuchu dostaw. Natomiast kody kreskowe muszą być zmieniane na każdym etapie ze względu na różne standardy.

W dystrybucji najważniejsza jest dokładność i szybkość przeprowadzenia inwentaryzacji. Tu też technologia RFID znajduje swoje zastosowanie w ewidencji ruchów magazynowych z wydaniem towaru do transportu. Każdy towar bądź paleta posiada indywidualne oznakowanie. Przechodząc przez bramkę z czujnikiem RFID zostaje zeskanowany i automatycznie system zapisuje, że towar został wydany do dalszej dystrybucji lub transportu [17].

## 5.2. Branża IT

Kolejnym przykładem zastosowania technologii RFID może być branża IT, która rozwija się bardzo szybko. Tworzą się coraz większe centrale informatyczne, gdzie znajduje się wiele sprzętów. Dzięki technologii RFID łatwiejsze staje się lokalizowanie danych urządzeń oraz ich konserwacja, gdyż ważne terminy związane z tym sprzętem można zapisać w pamięci chipu.

Inną formą zastosowania może być bezpieczeństwo danych. Dzięki RFID tylko wybrane osoby z odpowiednim tagiem będą mogły otwierać pliki lub w nie ingerować [18].

## 5.3. Inteligentne opakowania

Technologia RFID znajduje również swoje zastosowanie w opakowalnictwie produktów spożywczych, w połączeniu z inteligentnymi opakowaniami. Arnaldo Caprai jako pierwszy w korkach swoich win zaczął umieszczać chipy RFID pod nazwą SmartCorq (Rys. 5). Zamieszczał tam informacje o specyfice win, a także o warunkach ich przetwarzania i magazynowania. Dodatkowo w module RFID można umieścić szereg informacji na temat produktu znajdującego się w butelce, co jest dużym udogodnieniem dla koneserów win. Sam moduł zabezpiecza również przed wypełnieniem opakowania niewłaściwym produktem (np. na taśmie produkcyjnej).



Rys. 5. Przykład „SmartCorq” [19]

W tym samym celu powstały inteligentne etykiety. One również mają dostarczać producentowi oraz później konsumentowi informacji o danym produkcie. Na danym nośniku mogą znajdować się takie informacje jak: szczegółowy skład produktu, jego świeżość, pochodzenie. Wprowadzenie ich na



rynek przyniosło wiele korzyści zarówno dla producentów, jak i dla konsumentów. Zarówno jedni, jak i drudzy mają lepszy dostęp do danych, co jest bardzo ważne w dzisiejszych czasach, kiedy człowiek jest przyzwyczajony do tego, że ma dostęp do informacji o wszystkim co go otacza [20].

#### **5.4. Transport**

Kolejną dziedziną zastosowań RFID jest transport. Również w tym obszarze rozwój tej technologii jest dość szeroki. Jednym z wielu zastosowań jest automatyczna kontrola wjazdów i wyjazdów z parkingów (Rys. 6). Możliwe jest również automatyczne pobieranie opłat za parking. Pozwala to na zaoszczędzenie dużej ilości czasu administratorom, jak i kierowcom. Czytnik umieszczony na bramce parkingowej wykrywa zbliżający się samochód posiadający naklejkę z chipem nawet z odległości 12 m, co zapewnia płynność przejazdów. Poprawia to również bezpieczeństwo. Przykładem jest parking znajdujący się w Katowicach [21].

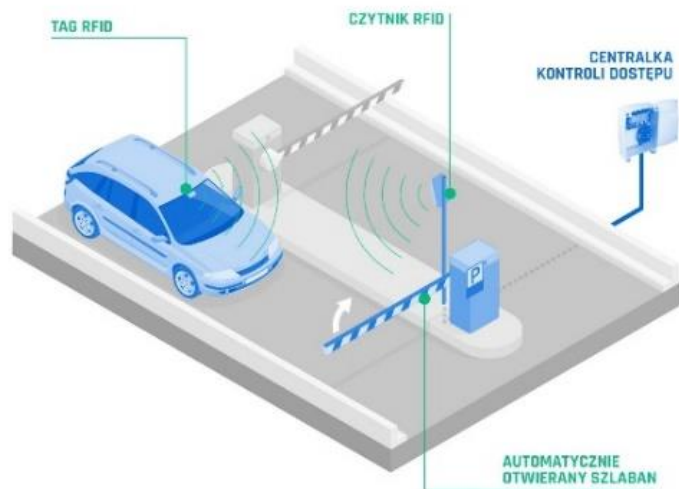
Podobna metoda jest stosowana na bramkach przejazdowych na autostradach. Samochód wyposażony jest w znacznik RFID. Na bramie przejazdowej znajduje się czytnik z anteną. Kiedy samochód znajdzie się w polu zasięgu czytnika, konto użytkownika zostaje obciążone odpowiednią kwotą. Jest to dużo sprawniejsza metoda niż tradycyjne opłaty. Niweluje również ryzyko oszustwa, ponieważ gdy samochód nie posiada znacznika RFID to czytnik automatycznie czytuje numer tablicy rejestracyjnej oszusta i interpretuje to jako naruszenie zasad.

Bilety elektroniczne to następna forma zastosowania technologii RFID. Bilety te zastępują bilety papierowe, co pozytywnie wpływa na środowisko. W skali roku wykorzystujemy dużo egzemplarzy biletów jednorazowych, a dzięki biletom elektronicznym możemy je zastąpić jedną kartą. Kolejną korzyścią z tego rozwiązania jest możliwość sprawnego odtworzenia duplikatu karty, a także znajdujących się w niej informacji, dotyczących np. biletu okresowego. W formie papierowej jest to prawie niemożliwe. Również zaletą jest sama wygoda użytkowania elektronicznego biletu i jego obsługa. Jest to plusem zarówno dla przewoźników, jak i pasażerów ponieważ w łatwy sposób można skontrolować, odczytać dane, a co za tym idzie zaoszczędza to czas.

Sposób działania systemu biletów elektronicznych jest dość prosty. W pojazdach komunikacji miejskiej znajdują się czytniki, które umożliwiają odczyt danych z kart zbliżeniowych. Można dzięki temu zakupić bilet elektroniczny lub sprawdzić aktualne dane znajdujące się na karcie [6].

Transport publiczny znalazł też inne zastosowanie dla tej technologii. Każdy autobus wyposażony jest w znacznik RFID z indywidualnym numerem. Natomiast każdy przystanek ma swój czytnik. Razem tworzy to pełną sieć informacyjną. Pozwala to efektywnie określić czas trasy przejazdu danego

środka transportu, a także szczegółowo określić w jakim odstępie czasowym autobus pojawi się na danym przystanku, co jest wygodą dla użytkowników komunikacji publicznej [6].



Rys. 6. Schemat działania automatycznego parkingu [21]

Kolejnym zastosowaniem radiowej identyfikacji są „komunikujące się” opony. W oponie znajduje się chip, na którym zapisywane są dane o oponie. Znajdują się tam również czujniki, które badają stan ogumienia opony oraz ciśnienie wewnątrz niej. Znaczniki te nie potrzebują baterii, są zasilane przez fale elektromagnetyczne w czasie zbierania danych. Są one również bardzo trwałe, trwalsze od samych opon. W firmach transportowych bardzo ważne jest ciągłe kontrolowanie stanu opon pojazdów. Zapewnia to bezpieczeństwo transportu. Skraca to również proces przeglądu technicznego pojazdu poprzez szybsze i sprawniejsze sprawdzenie stanu ogumienia danego środka transportu [6].

### 5.5. Inne przykłady zastosowania RFID

Jak się okazuje technologia RFID znalazła również swoje szerokie i powszechne zastosowanie w innych obszarach życia codziennego, w tym m.in. w handlu. Każdy z nas spotkał się bowiem z pewnością z bramkami antykradzieżowymi w sklepach. Działają one właśnie na zasadzie technologii RFID. Każdy produkt ma dołączony znacznik RFID. Bramka ma wbudowany czujnik, który uaktywnia się po opuszczeniu produktu bez uprzedniego zeskanowania go przez ekspedienta. Najczęściej czujnik uaktywnia sygnał dźwiękowy, tzn. załączenie alarmu, co jest świetną formą systemu

antykradzieżowego. Jest to duże ułatwienie dla zarządców sklepów, ponieważ nie muszą oni ciągle kontrolować tego co się dzieje w sklepie za pomocą kamer. Dźwięk alarmu jest na tyle głośny, że pozwala na szybką reakcję [22].

Technologia RFID usprawnia również sam proces produkcyjny, a także dalszą dystrybucję i sprzedaż danego produktu. Przykładem poprawienia procesów produkcyjnych jest wykorzystywanie tzw. metek radiowych. Zakład Ford Motor C.o poprzez wprowadzenie tego rozwiązania mógł śledzić od początku do końca całą produkcję auta dzięki dostarczaniu informacji do całej sieci komputerowej. Na metce zapisane są szczegółowe informacje, które etap po etapie dostarczają wiadomości dla pracowników np. dotyczących wykończenia wnętrza, a także dla maszyn - jakiej części użyć bądź jaki lakier nałożyć na karoserię [17].

Wspomniane metki są więc stosowane w celu poprawy efektywności procesów dystrybucyjnych; obniżają one bowiem nie tylko koszty produkcji, ale także poprawiają obsługę klienta. Dzięki tej technologii menadżer posiada informacje na jakim etapie produkcyjnym znajduje się dany przedmiot oraz jaka jest jego lokalizacja. System ten pozwala na szybszą i dokładniejszą kompletację danych informacyjnych, co niweluje ryzyko błędu, który mógłby popełnić człowiek [17].

## 6. Wnioski i podsumowanie

Technologia RFID znajduje zastosowanie w wielu dziedzinach życia. Korzyści z niej płynące stanowią główny powód sukcesu i popularności identyfikacji radiowej. Coraz więcej firm wprowadza ten system, co usprawnia pracę tych przedsiębiorstw, zarówno tych małych jak i dużych. Skutecznie wspiera również inne systemy informatyczne, co jest dużym plusem. Pomimo niektórych wad, technologia ta cieszy się dużym uznaniem wśród użytkowników. Nawet główna wada, jaką jest cena, nie odstrasza potencjalnych użytkowników, ponieważ należy patrzeć na to jako na inwestycję, która się zwróci w przyszłości.

## Literatura

- [1] Kropiewnicka-Mielko A., *Zdalna identyfikacja w procesie produkcji*, Automatyka, nr 7–8, 2016, s. 26–32.
- [2] Jakubski B., Życiak M., *Rozwój oraz obszary zastosowań technologii RFID*, Pomiar Automatyka Kontrola, r. 55, nr 7, 2009, s.518–520.
- [3] Bartczak K., *Zastosowanie RFID w logistyce*, Logistyka nr 4, 2015, s. 55–64.

- [4] Dobkin D. M., *The RF in RFID. Passive UHF RFID In Practice*, Elsevier New York, 2007.
- [5] Gotfryd M., Pawłowicz B., Pitera G., *Aktywne, pasywne i półpasywne systemy RFID*, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Elektrotechnika, z. 34 (292), nr 2, 2015, s. 243–258.
- [6] Neumann T., *Koncepcja zastosowania technologii RFID w transporcie drogowym*, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, nr 102, 2017, s. 44–60.
- [7] <https://www.conrad.pl/artykuly/guides/rfid-hellermannntyton> [dostęp 04.2020].
- [8] Kuczkowski R., Duda D., *Radiowe znakowanie majątku sieciowego*, Energia Elektryczna, nr 3, 2016, s. 1–12.
- [9] <https://www.pwsk.pl/czytnik-rfid/> [dostęp 04.2020].
- [10] [https://www.hdf.com.pl/baza-wiedzy/technologia\\_rfid/zalety\\_i\\_korzysci](https://www.hdf.com.pl/baza-wiedzy/technologia_rfid/zalety_i_korzysci) [dostęp 05.2020].
- [11] Palonka J., *Zastosowanie technologii RFID w logistyce*, Prace Naukowe, Systemy wspomaganie organizacji SWO 2007, 2007, s. 71–81.
- [12] Kleist R. A., Chapman T. A., Sakai D. A., Jarvis B. S., *RFID Labeling. Smart Labeling Concepts & Applications for the Consumer Packaged Goods Supply Chain*, Printronix Inc., Irvine, 2005, s. 89–111.
- [13] Santarek K., Gładysz B., *Ocena strategiczna efektów wdrożenia RFID*, Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji, Knosala R., Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole, 2014, s. 191–202.
- [14] Kocot K., Łazarowicz O., Witkowski P., *Wykorzystanie technologii RFID w budowaniu przewagi konkurencyjnej*, Logistyka, nr 3, 2012.
- [15] Lenart A., *Zarządzanie cyklem życia produktu a systemy ERP, Komputerowo zintegrowane zarządzanie*, Knosala R., t. 2, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole, 2009, s. 115–123.
- [16] <https://www.comarch.pl/erp/co-to-jest-system-erp-faq/> [dostęp 05.2020].
- [17] Rutkowski K., *Technologia RFID w zarządzaniu łańcuchem dostaw*, Gospodarka Materiałowa i Logistyka, nr 12, 2003, s. 2–6.
- [18] <https://www.rfidpolska.pl/zastosowanie-rfid/> [dostęp 04.2020].
- [19] <https://www.thedrinksbusiness.com/2019/04/how-smart-packaging-can-help-producers-stay-ahead-of-consumer-trends> [dostęp 05.2020].
- [20] <https://www.blog.mediafun.pl/foto/2007-09/prokreacja.pdf> [dostęp 05.2020].
- [21] <https://www.rfidpolska.pl/bezobslugowy-system-parkingowy/> [dostęp 04.2020].
- [22] Mazur R., *Wykorzystanie innowacyjnych technologii RFID w handlu, Agile Commerce – stechnologizowane zarządzanie w erze informacji*, Kolasińska-Morawska K., *Przedsiębiorczość i Zarządzanie*, tom XVII, zeszyt 11, część II, 2016, s. 183–194.

**Michał GUZ**

## **URZĄDZENIE DO NANOSZENIA GRAFIKI NA DREWNIANE STRZAŁY ŁUCZNICZE**

### **1. Wstęp**

Pomimo iż historia łucznictwa tradycyjnego sięga kilkunastu tysięcy lat wstecz, to do dziś cieszy się ono dużym zainteresowaniem. Kiedyś było ono nieodzownym elementem egzystencji człowieka. Było wykorzystywane zarówno do walki na polach bitew, jak i do zdobywania pokarmu, czy skór na ubrania przez myśliwych. Pomimo wyparcia łuków przez broń palną, przekazywane od pokoleń, czy to za sprawą mowy, czy przekazów pisemnych, tradycje łucznicze oraz sposoby ręcznego wytwarzania łuków i strzał przetrwały do dziś. Głównie jako element sportu czy form inscenizacji historycznych [1]. Wiele osób nadal wykonuje strzały łucznicze z drewna. Mimo ogromnego rozwoju technik drukarskich, takich jak sitodruk czy tampodruk oraz innych technik nanoszenia grafik na drewno, strzały łucznicze po dziś dzień malowane są ręcznie. Jest to spowodowane tym, iż brak na rynku odpowiednich tanich urządzeń do zastosowań hobbystycznych czy krótkoseryjnych.

W ramach niniejszego projektu zostało zaprojektowane i wykonane urządzenie do nanoszenia grafiki na drewniane strzały łucznicze z wykorzystaniem platformy Arduino wraz z nakładką CNC Shield oraz darmowego oprogramowania Open-Source GRBL. Projekt ten może być dalej rozwijany w celu jego udoskonalenia i dodania bardziej zaawansowanych funkcji, jak również wykorzystania go do innych zastosowań.

### **2. Metody nanoszenia grafiki na drewno**

Istnieje wiele metod nanoszenia grafik na drewno, jednak nie każda metoda jest odpowiednia do różnych zastosowań. Poniżej opisano najpopularniejsze metody wraz przykładami urządzeń do nanoszenia grafiki na drewno.

#### **2.1. Grawerowanie laserem**

Jest to technika wytwarzania obrazów na specjalnych płaskich oczyszczonych powierzchniach przy użyciu lasera diodowego lub lasera CO<sub>2</sub>, który usuwa warstwę materiału poprzez jej zwęglenie i odparowanie. Powstałe

obrazy są wyryte w danej powierzchni, a nie nałożone na nią. Metoda ta tworzy obrazy trwale niemożliwe do usunięcia, bez zniszczenia warstwy, w której się znajdują. Grawerowanie laserem jest technika precyzyjną, pozwalającą na grawerowanie obrazów w takich materiałach jak: metal, kompozyty, włókno szklane czy drewno [2]. Wadami tej metody są przede wszystkim:

- brak możliwości nieinwazyjnego usunięcia grafiki z materiału,
- możliwość zniszczenia materiału w przypadku, gdy został on wcześniej pokryty materiałami łatwopalnymi (np. lakierem),
- sposób działania metody, czyli usuwanie materiału, które może naruszyć jego strukturę,
- niska moc w przypadku laserów diodowych,
- duży koszt zakupu,
- dość skomplikowana obsługa lasera CO<sub>2</sub>,
- tylko jeden kolor obrazu oraz jego odcienie.

## 2.2. Sitodruk

Druk sitowy to jedna z najbardziej rozpowszechnionych metod drukarskich. Polega na wykorzystaniu szablonu z siatki z otworami, przez który nakładana jest farba. Siatka do sitodruku jest rozpiętym na ramie sitem wykonanym z metalu lub włókien syntetycznych. Najczęstszą metodą wytwarzania form drukarskich jest nanoszenie emulsji światłoczułej na sito, a następnie jej naświetlanie i wypłukiwanie nieutrwalonych fragmentów. Wadami tej metody drukowania są przede wszystkim [3]:

- gorsza jakość wydruku niż w przypadku innych metod, nawet w przypadku użycia sit bardzo dobrej jakości,
- możliwość druku tylko na elementach płaskich,
- zużywanie się form drukarskich,
- potrzeba zakupu specjalistycznych urządzeń do ich produkcji.

## 2.3. Tampodruk

Jest to metoda drukarska pozwalająca na przeniesienie dwuwymiarowego obrazu na trójwymiarowy przedmiot. Pozwala na wysokojakościowe nanoszenie obrazów na obiekty, na które żadna inna metoda drukarska nie pozwoliłaby nanieść kolorowego obrazu. Do drukowania potrzebna jest specjalna silikonowa gąbka, na którą nakładany jest tusz, przy pomocy specjalnej formy. Następnie gąbka ta odciska tusz na obiekcie, na którym ma być naniesiona grafika [4]. Do wad tej metody należy duży koszt zakupu tamponiarki. Przystosowana do wykonywania dużych serii nadruków. Nieopłacalna przy wykonywaniu niewielkich serii produkcyjnych, jak w przypadku drewnianych strzałach łuczniczych.

### 3. Zastosowane technologie

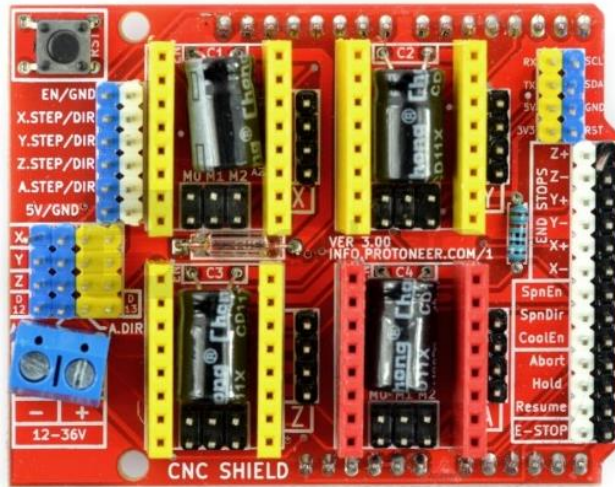
#### 3.1. Platforma Arduino

Poszczególne wersje i modele Arduino różnią się od siebie parametrami, takimi jak wymiary płytki, waga, rozmieszczenie pinów, ilość wejść analogowych/cyfrowych czy choćby liczbą kanałów PWM (ang. *Pulse Width Modulation* – modulacji szerokości impulsu).

Ciągle rozwijanie projektu Arduino poskutkowało tym, iż w obecnym czasie istnieje wiele modeli oraz wersji Arduino. Większość z nich bazuje na 8-bitowym mikrokontrolerze RISC (ang. *Reduced Instruction Set Computer*), czyli procesorze o zredukowanej liczbie instrukcji, w tym przypadku mikrokontrolerze z rodziny AVR firmy Atmel. Rdzeń rodziny AVR został zaprojektowany z myślą o językach poziomu wysokiego, takich jak C. Podczas prac nad układem przeprowadzono konsultacje z ekspertami w implementacji tego języka, co zaowocowało powstaniem elastycznego i wygodnego dla programisty rdzenia o dobrej, jak na ośmiobitowy układ, wydajności. Rdzeń AVR bazuje na architekturze RISC [5], [6], [7]. Główną zaletą rdzenia AVR jest sposób, w jaki wykonuje on instrukcje. Pozwala na to zastosowany w nim mechanizm przetwarzania potokowego, który polega na jednoczesnym wykonywaniu instrukcji (ang. *Execute*) oraz pobieraniu (ang. *Fetch*) z pamięci kodu następnej instrukcji [8].

W opisywanym projekcie wykorzystano mikrokontroler Arduino Uno. Został on wybrany ze względu na jego powszechne zastosowanie. Model ten posiada mikrokontroler Atmega 328P, stabilizatory 5 V i 3,3 V, możliwością zasilania z układu 12 V oraz kompatybilnością i dostępnością rozszerzeń w postaci nakładek/tarcz (ang. *Shields*) pozwalających na zwiększenie możliwości i rodzajów zastosowań mikrokontrolera [6, 7].

Podstawową funkcjonalność Arduino można zwiększyć poprzez dodanie specjalistycznej płytki rozszerzeń zwanej nakładką lub tarczą. Istnieje wiele nakładek oferujących różne możliwości [6]. W przypadku opisywanej pracy zastosowano nakładkę CNC Shield umożliwiającą podłączenie do Arduino silników krokowych, sterowników silników krokowych, krańcówek oraz wybór trybu, w jakim mają pracować silniki krokowe, a także doprowadzenie zasilania 12 V z pominięciem płytki Arduino.



Rys. 1. Nakładka CNC Shield wykorzystana w projekcie

### 3.2. Silniki krokowe

Silnik krokowy jest to silnik elektryczny, który przekształca ciąg elektrycznych impulsów sterujących na ciąg przesunięć wirnika o pewien kąt. W silniku krokowym droga kątowna, jaką przebędzie wirnik, jest proporcjonalna do ilości otrzymanych przez silnik impulsów. Natomiast prędkość jest zależna od częstotliwości, z jaką impulsy docierają do silnika. Kierunek obrotu jest zależny od sekwencji impulsów sterujących, które docierają do uzwojenia wirnika. Silnik jest w stanie bezpośrednio przetworzyć sygnał sterujący na wymagane położenie wału [9].

Parametry katalogowe silników krokowych różnią się od parametrów innych typów silników elektrycznych. Przykładem tego jest to, iż dla silników krokowych nie podaje się obrotów znamionowych. Jednakże, tak jak dla reszty silników podaje się podstawową informację opisującą każdy silnik elektryczny, a mianowicie moment obrotowy [9].

Najczęściej stosowanymi rodzajami silników krokowych są: silniki o zmiennej reluktancji, silniki z magnesem trwałym oraz silniki hybrydowe. W dzisiejszych czasach, silniki o zmiennej reluktancji spotykane są przede wszystkim w starych modelach urządzeń pochodzących z odzysku. Masowo produkowanymi i stosowanymi obecnie są dwa pozostałe typy silników [9].

**Silnik hybrydowy** (ang. *HyBrid motor*, HB) jest połączeniem technologii wykorzystanych w silniku z magnesem trwałym i silniku o zmiennej reluktancji. Dzięki wykorzystaniu zalet obu technologii osiągnięto poprawę parametrów silnika: momentu obrotowego oraz rozdzielczości kroków, co pozwoliło na wykorzystanie silnika do wysoko precyzyjnych rozwiązań. Jednakże bardziej



skomplikowana budowa wpłynęła na cenę silnika, który kosztuje kilkakrotnie więcej od pozostałych rodzajów. W silniku hybrydowym wirnik zbudowany jest z uzębionych nabiegunków, a także magnesu trwałego, powodującego naprzemienne namagnesowanie zębów biegunami *N* oraz *S*. Stojan jest uzębiony i posiada podobną jak w silniku o zmiennej reluktancji budowę. Silniki hybrydowe charakteryzują się wysoką rozdzielczością kroków, zazwyczaj w zakresie  $3,6^{\circ}$ – $0,9^{\circ}$ , co odpowiada 100–400 krokom na obrót [9].

W projekcie użyto silnika krokowego 17HS4401 w standardzie NEMA 17. Główne parametry tego silnika to:

- 200 kroków na obrót ( $1,8^{\circ}$  na krok),
- prąd znamionowy 1,7 A,
- 4 przewodowy silnik bipolarny,
- moment trzymający 4,28 kg/cm.



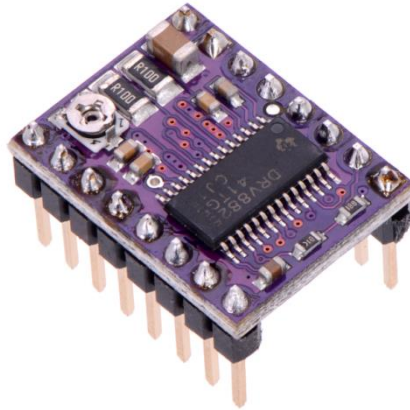
Rys. 2. Silnik krokowy NEMA 17 17HS4401

### 3.3. Sterowniki silników

Sterowanie pracą różnych typów silników krokowych jest bardzo złożonym zadaniem. Wymusiło to wdrożenie do produkcji przez wiele firm półprzewodnikowych różnych końcówek mocy oraz kompletnych sterowników z programowalnymi sekwenserami. Dobór odpowiedniej metody sterowania do zastosowanego silnika krokowego ma ogromny wpływ, na jakość pracy napędu [9].

Podczas sterowania mikrokrokowego prądy płynące w uzwojeniach zmieniają się płynnie, co skutkuje rozbiciem pełnego kroku na wiele mniejszych. Praca mikrokrokowa polega na bardziej płynnym obracaniu pola magnetycznego stojana niż w metodach pełno- i półkrokowych, co skutkuje zmniejszeniem drgań silnika. Wykorzystanie mikrokroków podczas pracy silnika pozwala na uzyskanie dokładniejszego pozycjonowania. Dzięki wykorzystaniu tej metody, pojedynczy krok może być podzielony od 2 do 32 mikro kroków [9].

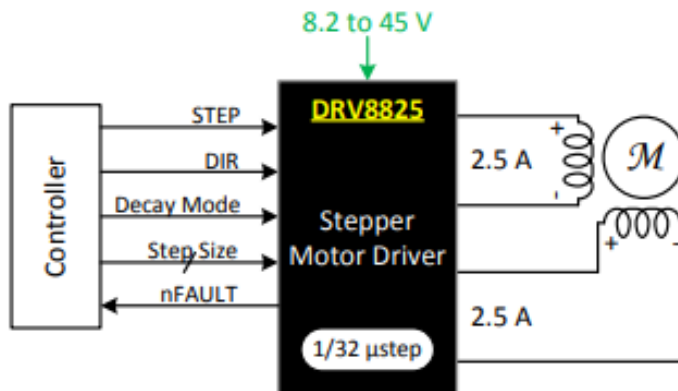
W projekcie wykorzystano sterownik silników krokowych DRV8825 firmy Texas Instruments. Sterownik ten został dobrany ze względu na prostą obsługę oraz możliwość wykorzystania w połączeniu z platformą Arduino, a także na możliwość pracy mikrokrokowej, która zwiększy rozdzielczość kroków. Będzie miało to wpływ na jakość nanoszonych grafik.



Rys. 3. Sterownik DRV8825 firmy Texas Instruments

Specyfikacja sterownika DRV8825:

- napięcie zasilania 8,2 V – 42 V,
- prąd maksymalny 2,5 A na fazę (1,5 A bez chłodzenia, maksymalny prąd 2,2 A),
- możliwość pracy mikrokrokowej: 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32 kroku,
- zabezpieczenia sterownika to zabezpieczenie nadprądowe i wyłącznik termiczny.



Rys. 4. Uproszczony schemat podłączenia sterownika DRV8825

Tabela 1. Tryby pracy mikrokrokowej sterownika DRV8825

MODE2	MODE1	MODE0	STEP MODE
0	0	0	Full step (2-phase excitation) with 71% current
0	0	1	1/2 step (1-2 phase excitation)
0	1	0	1/4 step (W1-2 phase excitation)
0	1	1	8 microsteps/step
1	0	0	16 microsteps/step
1	0	1	32 microsteps/step
1	1	0	32 microsteps/step
1	1	1	32 microsteps/step

### 3.4. Druk przestrzenny

Druk przestrzenny (ang. *3D printing*) jest wykorzystywany, jako szybka i tania metoda prototypowania części lub zestawów części. Stosuje się ją w celu szybkiego wytworzenia fizycznego modelu zaprojektowanej części (często przeskalowanym). Pozwala to użytkownikowi na wstępne przetestowanie danego elementu. Ogromną zaletą druku przestrzennego jest to, iż pozwala on na obniżenie kosztów prototypowania oraz wdrażania nowych części lub zestawów elementów. Nie wymaga on wykonywania specjalnych form na części lub całych linii fabrycznych do ich wykonania, co może znacząco zwiększyć koszty.

W przypadku, gdy elementy prototypowe nie spełniają wymagań konstrukcyjnych lub trzeba w nich wprowadzić zmiany, które wymuszają wytworzenie nowych form na części lub budowy nowych linii fabrycznych. Do wykonania prototypu metodą druku przestrzennego wystarczy cyfrowy, trójwymiarowy model części zapisany w odpowiednim formacie, oprogramowanie zamieniające dany model na kod zrozumiały dla drukarki 3D (tzw. *Slicer*) oraz drukarka 3D drukująca elementy wybraną metodą [10]–[12].

W projekcie wykorzystano druk przestrzenny w technologii FDM (ang. *Fused Deposition Material*) jest to metoda polegająca na nanoszeniu kolejnych warstw modelu poprzez wytłaczanie materiału przez rozgrzaną dyszę. Materiał jest doprowadzany do dyszy w postaci żyłki o przekroju okrągłym zachowującym jednakową średnicę swojego przekroju na całej długości (zazwyczaj 1,75 mm lub 2,85 mm). Żyłka ta potocznie nazywana jest filamentem. Materiał jest doprowadzany do dyszy za pomocą ekstrudera składającego się silnika napędowego z ryflowanymi rołkami. Ekstruder wykorzystywany jest do popychania lub cofania dostarczanego materiału w celu zapobiegnięcia jego niekontrolowanego wypływu. Po dostarczeniu do dyszy, materiał jest topiony w odpowiedniej temperaturze, a następnie wyciskany w postaci cienkiego włókna na platformę roboczą (stół), która w zależności od modelu drukarki, może być dodatkowo podgrzewana. Zapobiega to odkształcaniu się zbyt szybko stygnącego materiału [10], [4].

## **4. Projekt i budowa urządzenia do nanoszenia grafiki**

### **4.1. Część mechaniczna**

W celu minimalizacji kosztów budowy urządzenia podstawę oraz niektóre podpory wykonano z drewna z odzysku, głównie sklejk i płyty wiórowej. Zostały one połączone klejem do drewna oraz wkrętami o różnych wymiarach. Za napęd w urządzeniu odpowiadają trzy silniki NEMA 17 17HS4401, po jednym na każdą z osi. Napęd przenoszony jest przy pomocy śruby trapezowej Tr8x2 o długości 500 mm. Śruba trapezowa jest sprzęgnięta z silnikiem poprzez sprzęgło sztywne oraz umieszczona na 2 podporach z wbudowanymi łożyskami, które pozwalają jej na swobodny obrót. Na śrubie zamontowany jest wózek z silnikiem osi Z oraz cienkopis do nanoszenia grafik.

Wózek został zaprojektowany w programie SolidEdge ST10. Pozwoliło to na zapisanie pliku w formacie STL, dzięki czemu rzeczywisty trójwymiarowy model wózka mógł zostać wydrukowany na drukarce 3D w technologii FDM.

Do wydruku gotowego modelu użyto drukarki Creality Ender 3 Pro. Materiałem jaki został użyty do wykonania gotowego modelu był polilaktyd (PLA). Jest to materiał wytwarzany ze skrobi z ziemniaków lub kukurydzy, dzięki czemu jest on biodegradowalny, a więc przyjazny dla środowiska. Jest to najpopularniejsze tworzywo wykorzystywane w druku przestrzennym, dzięki swojej niskiej cenie w stosunku do innych materiałów oraz dosyć niskiej temperaturze druku zawierającej się w przedziale 185–230°C (w zależności od domieszek). PLA charakteryzuje się dobrą wytrzymałością [6]. Parametry jakich użyto do wydruku modelu wózka to: wysokość warstwy 0,3 mm, wypełnienie 70%, temperatura dyszy 205°C oraz temperatura stołu wynoszące 60°C.

Do spodu wózka dodano dwa łożyska, które dotykają podstawy urządzenia, dzięki czemu zniwelowano odkształcenie śruby napędowej pod ciężarem wózka wraz z silnikiem osi Z.

### **4.2. Część elektroniczna**

Sterowaniem urządzenia zajmuje się mikrokontroler Arduino, w który wpięta jest nakładka CNC Shield. Na nakładce, poprzez zwarcie 3 par pinów (dla każdego gniazda sterownika), ustawiono tryb pracy mikrokrokowej z rozdzielczością 1/32 kroku. Do sterowania silnikami krokowymi wykorzystano sterowniki silników DRV 8825. Aby ułatwić proces bazowania urządzenia, wykorzystano jeden czujnik krańcowy. W celu dostarczenia zasilania z sieci do urządzenia, wykorzystano złącze IEC, popularnie występujące w zasilaczach komputerowych. Jest ono wyposażone we włącznik dwupozycyjny oraz wbudowany bezpiecznik 10 A.

Gniazdo to jest połączone z zasilaczem impulsowym 12 V DC o mocy 240 W. Wykorzystano zasilacz o takim zapasie mocy, gdyż istnieje ryzyko jego niskiej sprawności. Zasilanie 12 V DC jest następnie doprowadzane do nakładki CNC Shield z pominięciem mikrokontrolera Arduino, a następnie rozprowadzane do silników krokowych. Jako, że Arduino nie zasilą bezpośrednio żadnych komponentów, w zupełności wystarczy mu napięcie jakie otrzymuje poprzez przewód służący do komunikacji z komputerem PC.



Rys. 5. Złożone urządzenie gotowe do pracy

#### 4.3. Oprogramowanie sterujące

Do sterowania urządzeniem wykorzystane zostały: programistyczne środowisko Arduino (IDE), GRBL – program do analizy znormalizowanego zapisu poleceń dla urządzeń CNC (G code) oraz kontroli maszyn CNC, Universal Gcode Sender – wykorzystywany jako interfejs do konfiguracji oraz sterowania maszyną oraz program InkScape służący do zamiany obrazów na Gcode. Wszystkie te programy są darmowe lub mają status Open Source oraz dużą społeczność, która nieustannie je rozwija. Programy te są bardzo proste w użyciu, dzięki czemu nie wymagają od użytkownika specjalistycznej wiedzy.

Pierwszym etapem było pobranie wszystkich programów. Następnie GRBL został wgrany do mikrokontrolera Arduino przy pomocy Arduino IDE. Kolejnym krokiem było włączenie programu Universal Gcode Sender oraz sparowanie go z Arduino. W programie tym dokonano konfiguracji urządzenia poprzez ustawienie odpowiednich parametrów pracy silników krokowych, wybór ilości zamontowanych czujników krańcowych a także zdefiniowanie wielkości pola roboczego budowanego urządzenia (w tym przypadku wymiar wynosił  $10 \times 350 \text{ mm}^2$ ). Następnie wykonano kalibrację i bazowanie urządzenia. Po tych zabiegach urządzenie było gotowe do działania.

Proces nanoszenia grafiki rozpoczyna się od wgrania interesującej nas grafiki do programu InkScape. W programie tym obraz zostaje zamieniony na bitmapę oraz dobierane są parametry druku. Następnie obraz zapisywany jest jako Gcode zrozumiały dla urządzenia. Kolejnym krokiem jest utworzenie

folderu z plikiem Gcode w programie Universal Gcode Sender. Dzięki opcji wizualizacji można prześledzić poszczególne ścieżki przejścia cienkopisu podczas nanoszenia grafiki przed fizycznym rozpoczęciem procesu. Gdy wszystkie dane są poprawne można uruchomić proces nanoszenia grafiki.

## 5. Testy urządzenia

Przeprowadzenie testów urządzenia było ważnym aspektem procesu budowy w celu sprawdzenia poprawności jego działania. Po przeprowadzeniu testów wprowadzono zmiany w budowie urządzenia. Głównym problemem, na jaki napotkano podczas testów, było to, iż w trakcie pracy urządzenia sterowniki silników grzały się i wydobywał się z nich nieprzyjemny zapach. Aby obniżyć ich temperaturę pracy, w celu wydłużenia ich żywotności oraz poprawienia jakości działania zamontowano rozwiązanie pasywne w postaci aluminiowych radiatorów montowanych bezpośrednio na kontroler sterownika oraz rozwiązanie aktywne w postaci wentylatora. Zabiegi te poskutkowały obniżeniem temperatury pracy sterowników, a co za tym idzie, wyeliminowaniem nieprzyjemnego zapachu oraz poprawą jakości pracy sterownika.

Po przeprowadzonych testach wysunięto poniższe wnioski. Zastosowane w projekcie rozwiązania cechują się niskim kosztem, dostępnością oraz łatwością implementacji. Gotowe urządzenie umożliwiało nanoszenie grafik na drewniane strzały łucznicze, jednak ich jakość nie jest w pełni zadowalająca i wymagałaby dalszej rozbudowy urządzenia.

Dużym udoskonaleniem byłaby implementacja automatycznej zmiany koloru nanoszonego tuszu. Pozwoliłoby to na otrzymywanie wielokolorowych grafik. Urządzenie mogłoby także być zastosowane nie tylko do drewnianych strzał łuczniczych, ale także do wykonywanych na zamówienie wędzisk sportowych, kijów bilardowych czy bejsbolowych, oszczepów oraz wielu innych przedmiotów. Urządzenie sprawdziłoby się dobrze wszędzie tam, gdzie produkty wykonywane są w niewielkich ilościach.

## Literatura

- [1] Grayson E. C., French M., O'Brien J. M., *Traditional archery from six continents*, University of Missouri Press, Columbia, 2007.
- [2] Prasetyani L., Priambodo S. P., *450nm Laser diode beam shaping in engraving process*, 15th International Conference on Quality in Research (QiR), International Symposium on Electrical and Computer Engineering, Nusa Dua, 2017, s. 114–119.

- [3] Zhou C., Qi Y., Zhang S., Niu W., Ma W., Wu S., Tang B., *Rapid fabrication of vivid non iridescent structural colors on fabrics with robust structural stability by screen printing*, *Dyes and Pigments*, (w przygotowaniu) 2020, s. 1–2.
- [4] Urbas R., Elesini S. U., Cigula T., Poljaček M. S., *Printing on Polymers*, Roz. 16, Pad Printing, William Andrew Publishing, 2016, s. 263–278.
- [5] Banzi M., Shiloh M., *Getting Started with Arduino: The Open Source Electronics Prototyping Platform*, (Make) 3rd Edition, Maker Media, Sebastopol, 2014.
- [6] Evans M., Noble J., Hochenbaum J., *Arduino w akcji*, Wydawnictwo Helion, Gliwice, 2014.
- [7] Galadima A. A., *Arduino as a learning tool*, 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO), Abuja, 2014, s. 1–4.
- [8] Baranowski R., *Mikrokontrolery AVR ATmega w praktyce*, Wydawnictwo BTC, Warszawa, 2005.
- [9] Przepiórkowski J., *Silniki elektryczne w praktyce elektronika*, Wydawnictwo BTC, Warszawa, 2012.
- [10] Kaziunas France A., *Świat druku 3D. Kompendium wiedzy o druku 3D*, Wydawnictwo Helion, Gliwice, 2014.
- [11] Macdonald E. i inni., *3D Printing for the Rapid Prototyping of Structural Electronics*, in *IEEE Access*, Nr 2/2014, s. 234–242.

## **Jakub IRACKI**

Politechnika Lubelska, Koło Naukowe Elektroników i Mechatroników SEMICON

# **AUTOMATYCZNY SYSTEM NAWIGACJI PLATFORMY MOBILNEJ WYKORZYSTUJĄCY ŚLEDZENIE OBIEKTU**

## **1. Wstęp**

W dzisiejszych czasach trudno jest nie zauważyć rozwoju robotyki. Znajduje ona zastosowanie w wielu obszarach życia. Szczególnie wyraźnie widać jej wpływ w rozwoju urządzeń mobilnych. Wykorzystywane są między innymi w transporcie, przemyśle, rozrywce czy gospodarstwach domowych. Systemy sterowań dzisiejszych robotów mobilnych są bardzo mocno zautomatyzowane. Dzięki szybkiemu rozwojowi tej dziedziny nauki, rola operatora takiego urządzenia często sprowadza się jedynie do uruchomienia urządzenia, czy też jego wstępnej kalibracji. Wiele z tych urządzeń do swoich systemów sterowań wykorzystuje widzenie maszynowe, które znacznie zwiększa możliwości automatyzacji tego procesu [1]. Stosując analizę obrazu, widzianego przez urządzenie możliwe jest nie tylko samo poruszanie się w przestrzeni, lecz także dodatkowa analiza zbieranych danych wykorzystywanych na przykład do tworzenia map przestrzennych czy rozpoznawanie widzianych obiektów [2].

System wykonany na potrzeby tej pracy ma postać platformy mobilnej. Posiada ona zautomatyzowany system nawigacji oraz sterowania. Zadaniem systemu jest śledzenie zadanego obiektu. Do tego zadania wykorzystuje zbierany obraz wideo. Jednostka systemowa jest odpowiedzialna za lokalizację śledzonego obiektu oraz za kontrolę nad napędem. Możliwa jest także zdalna kontrola urządzenia przy pomocy dodatkowego komputera nadzorującego. Jest to również projekt, który posiada wiele możliwości dalszej rozbudowy.

## **2. Zastosowane technologie**

### **2.1. Raspberry Pi**

Aby spełnić wymagania stawiane przed systemem stworzonym na potrzeby pracy, konieczne było zastosowanie odpowiedniej jednostki systemowej. Głównymi wymaganiami stawianymi przed urządzeniem była odpowiednia moc obliczeniowa, niewielkie rozmiary, zdolność do komunikacji z jednostką



napędową, możliwość przetwarzania obrazu wideo, a także niewielki pobór mocy. Dodatkową zaletą będzie możliwe niska cena urządzenia. Te wymagania niemal idealnie spełniają dzisiejsze komputery jednopłytkowe [3].

Spośród szerokiej gamy rozwiązań dostępnych na rynku, wybrano komputer jednopłytkowy „Raspberry Pi”. Na przestrzeni lat ukazało się wiele modeli Raspberry Pi. Wraz z kolejnymi wydaniem komputera, wzrastały ich moce obliczeniowe oraz ich funkcjonalności. Do wykonania projektu najważniejszymi parametrami były: moc obliczeniowa, bezprzewodowa łączność sieci Wi-Fi oraz obsługa modułu kamery wideo. Na chwilę kompletowania podzespołów potrzebnych do wykonania urządzenia, najbardziej odpowiednim okazał się model 3 B+.



Rys. 1. Raspberry Pi model 3 B+

Raspberry Pi do poprawnego działania potrzebuje systemu operacyjnego. Spośród biblioteki dostępnych systemów wybrano finalnie natywny dla tej platformy, bazujący na Linuksie, system Raspbian. Do stworzenia głównego programu, konieczne było napisanie odpowiedniej aplikacji sterującej pracą platformy mobilnej. Do tego zadania wybrany został język programistyczny Python w wersji 3.8.1.

## 2.2. Jednostka napędowa

Do napędzania platformy zostały wykorzystane dwa silniki firmy Pololu o oznaczeniu fabrycznym 1125. Są to komutatorowe mikrosilniki z magnesami trwałymi z przekładnią kątową 120:1. Napięcie nominalne silników wynosi 4,5 V. Jednak, jak informuje producent, silniki mogą pracować bez przeszkód w zakresie 3–6 V. Zastosowanie przekładni powoduje zwiększenie momentu obrotowego do 0,137 Nm. Dobrane silniki zapewnią odpowiednią prędkość poruszania się platformy, której waga wynosi zaledwie 0,54 kg.

Sterowanie silnikami odbywa się przez zasilaniem silnika impulsami prostokątnymi o zmiennym współczynniku wypełnienia – modulacja PMW (ang. *Pulse Width Modulation*). Zmianę kierunku obrotów komutatorowych

silników elektrycznych uzyskuje się poprzez zmianę biegunowości zasilania, za co odpowiedzialny jest dobrany sterownik.

Jako sterownik silników przy budowie platformy, wykorzystano dwukanałowy sterownik firmy Pololu o oznaczeniu DRV8835. Sterownik ten jest przystosowywany do mikrokomputera Raspberry Pi. Do płytki sterownika przyłutowana jest szyna żeńskich portów, którą nakłada się na szynę pinów GPIO znajdującą się na mikrokomputerze Raspberry Pi.

Sygnal PWM jest pobierany bezpośrednio z odpowiednich pinów szyny GPIO Raspberry Pi, które jest w stanie generować sygnał o zmiennym współczynniku wypełnienia, oddzielnie dla każdego z podłączonych silników, co umożliwi ich niezależną pracę. Zastosowanie dwóch mostków tranzystorowych typu H w układzie sterownika, pozwala na niezależną zmianę kierunku obrotu każdego z silników, zależnie od stanów części logicznej układu, również pobieranego z odpowiednich pinów GPIO. Producent udostępnia także bardzo poręczną bibliotekę programistyczną dla języka Python, która w znacznym stopniu ułatwia sterowanie silnikami [4].

### 2.3. OpenCV

W celu przetwarzania obrazu wideo przez jednostkę systemową, niezbędne jest zastosowanie odpowiedniego oprogramowania. Do tego zadania zastosowano bibliotekę funkcji programistycznych OpenCV. Wieloplatformową bibliotekę o otwartym kodzie skupiającą się na zagadnieniach widzenia komputerowego [5].

### 2.4. Przetwornice napięcia DC-DC

Jako źródło zasilania platformy, z racji dzisiejszej popularności tego rozwiązania, zostały użyte cztery akumulatory litowo-jonowe 18650 [6] firmy Samsung o nominalnym napięciu wynoszącym 3,63 V, pojemności 2600 mAh i maksymalnym prądzie rozładowywania 5,2 A. Akumulatory zostały połączone szeregowo w dwa zestawy po dwa akumulatory, co powoduje, że napięcie wyjściowe każdego z zestawów wynosi 7,26 V. Pierwszy zestaw jest odpowiedzialny za zasilanie Raspberry Pi, a drugi za zasilanie silników.

Raspberry Pi 3 B+ do poprawnego działania potrzebuje 5 V napięcia, a prąd, który pobiera urządzenie dochodzi aż do 2,5 A. Znamionowa wartość napięcia zasilającego silniki wynosi 4,5 V, lecz mogą one pracować w zakresie 3–6 V. Maksymalny prąd, jaki mogą pobierać jednocześnie dwa silniki wynosi około 2 A. Powoduje to konieczność obniżenia wartości napięć. Zostały do tego wykorzystane impulsowe przetwornice napięcia DC-DC.

Przetwornice impulsowe są odpowiedzialne za zmianę napięcia wejściowego na określone napięcie wyjściowe o innej wartości lub odwrotnej biegunowości. Wyróżnia się trzy podstawowe typy przetwornic impulsowych:

obniżające napięcie (ang. *step down*), podwyższające napięcie (ang. *step up*) oraz odwracające napięcie (ang. *inverting converter*). Ze względu na dobrane źródło zasilania, konieczne będzie zastosowanie układu obniżającego napięcie.

Do obniżenia napięcia zasilania mikrokomputera, jak i silników wykorzystano dwie przetwornice obniżające napięcie firmy Pololu o oznaczeniu D24V22F5 [7]. Napięcie wyjściowe tej przetwornicy wynosi 5 V, a maksymalny prąd wyjściowy 2,5 A. Zakres napięć wejściowych mieści się w przedziale od 5,3 V do 36 V.



Rys. 2. Impulsowa przetwornica napięcia Pololu D24V22F5 [7]

### 3. Budowa platformy mobilnej

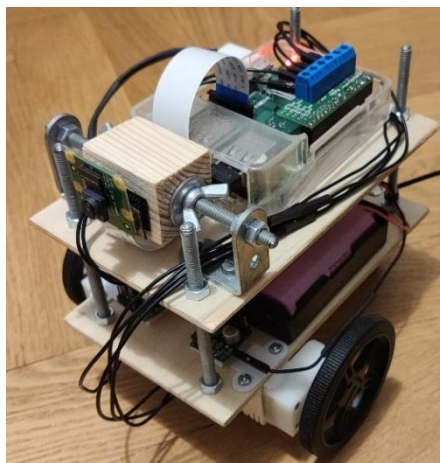
#### 3.1. Część mechaniczna platformy mobilnej

Konstrukcja składa się z dwóch platform, ponieważ umieszczenie wszystkich komponentów na jednej byłoby problematyczne, a zwiększenie wymiarów platformy ograniczyłoby jej zwrotność. Bazę dla każdej z platform stanowią drewniane płyty sklejkowe o wymiarach  $145 \times 88 \times 3 \text{ mm}^3$ .

Na pierwszym poziomie platformy od strony zwróconej ku podłożu zamontowane zostały dwa silniki Pololu 1125 przy użyciu dedykowanych mocowań oraz koło obrotowe. Na wały silników założone zostały koła o średnicy 60 mm i szerokości opony wynoszącej 6 mm. Na stronie zwróconej ku górze zostały umieszczone dwa koszyki na akumulatory 18650 oraz dwie impulsowe przetwornice napięcia Pololu D24V22F5. Przez otwory wykonane na drewnianej płytce przechodzą cztery pręty gwintowane, przymocowane za pomocą nakrętek. Służą one do mocowania wyższego poziomu platformy.

Do górnej platformy przymocowany został mikrokomputer Raspberry Pi umieszczony w obudowie. Na szynę pinów GPIO wsunięty został sterownik

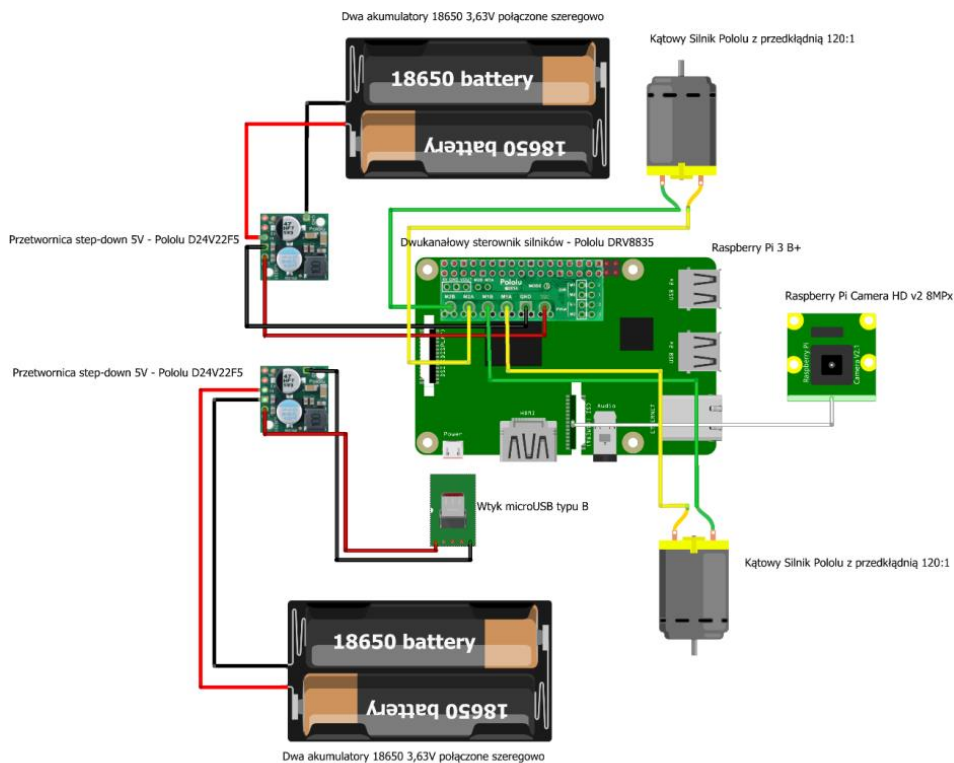
silników Pololu DRV8835. Na tym poziomie znajduje się również dedykowany dla mikrokomputera moduł kamery - Raspberry Pi Camera HD v2 [8]. Kamera została zamontowana na samodzielnie stworzonym statywie. Finalne wymiary platformy wynoszą  $145 \times 136 \times 125 \text{ mm}^3$ , a waga całego zestawu wynosi 0,54 kg.



Rys. 3. Zmontowana platforma mobilna

### 3.2. Część elektroniczna platformy mobilnej

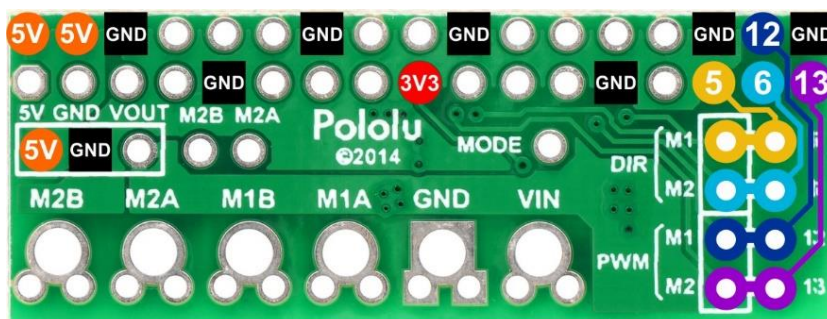
Ogólny schemat połączeń przedstawiono na rysunku 4. Można na nim zauważyć, że możliwe jest wyróżnienie dwóch obwodów zasilających. Pierwszym z nich jest obwód zasilania komputera jednopłytkowego Raspberry Pi, a drugim obwód zasilania silników. Raspberry Pi model 3 B+ do poprawnego działania potrzebuje 5 V napięcia zasilającego. Prąd pobierany przez urządzenie zależy od dwóch czynników. Po pierwsze jest to intensywność wykonywanych obliczeń (obciążenie procesora CPU) oraz wartość prądu pobieranego na potrzebę urządzeń peryferyjnych. Jego wartość może wynosić maksymalnie 2,5 A. ten model mikrokomputera obsługuje trzy metody zasilania: przez złącze microUSB, przez GPIO oraz poprzez złącze Ethernet przy użyciu dodatkowej nakładki. Do platformy mobilnej opisywanej w tej pracy zostało wybrane zasilanie poprzez microUSB ze względu na dodatkowe zabezpieczenia znajdujące się na płycie komputera, które zastosował producent przy tym rodzaju zasilania.



Rys. 4. Ogólny schemat wszystkich połączeń

Jako źródło zasilania tego układu zostały wykorzystane dwa akumulatory 18650 (3,6 V) o maksymalnym dozwolonym prądzie rozładowywania wynoszącym 5,2 A. Akumulatory umieszczono w koszykach, które łączą je ze sobą szeregowo. Nominalne napięcie wyjściowe zestawu akumulatorów wynosi 7,26 V. Pojemność tego zestawu akumulatorów wynosi 2600 mAh, co pozwala na ponad godzinną pracę mikrokomputera przy jego maksymalnym obciążeniu. Aby osiągnąć potrzebne napięcie 5 V zastosowano impulsową przetwornicę częstotliwości pracującą w zakresie napięć wejściowych 5,33–6 V. Ten zakres pracy przetwornicy zabezpiecza także przed zbyt głębokim rozładowaniem akumulatorów. Do układu zasilania silników wykorzystano zestaw akumulatorów oraz przetwornicę napięcia identycznie, jak w przypadku zasilania mikrokomputera. Przewody zasilające silniki zostały połączone do odpowiednich portów znajdujących się na sterowniku silników.

W poprzednich częściach pracy omówiono umieszczenie sterownika silników na szynie portów GPIO mikrokomputera Raspberry Pi. Do sterowania napięciem podawanym na zaciski silników wykorzystywane są porty 5, 6, 12, 13 zaznaczone na rysunku 5.



Rys. 5. Sterownik silników Pololu DRV8835 z oznaczonymi portami wykorzystywanymi do sterowania pracą silników [4]

Sterowanie prędkością silnika nr 1, odbywa się poprzez podanie impulsowego sygnału o zmiennym współczynniku wypełnienia na port nr 12. Kierunek obrotu tego silnika zależy od stanu na porcie nr 5. Analogicznie jest dla silnika nr 2, dla którego te parametry zależą od stanu portów 13 i 6.

Moduł kamery „Raspberry Pi Camera HD v2” został wpięty w dedykowane dla niej złącze CSI (ang. *Camera Serial Interface*) na płycie komputera Raspberry Pi.

## 4. Oprogramowanie sterujące

### 4.1. Zdalna obsługa systemu

Komputer jednopłytkowy Raspberry Pi z wgranym systemem operacyjnym Raspbian można obsługiwać jak klasyczny komputer osobisty. Raspbian jest systemem operacyjnym o graficznym interfejsie użytkownika. Poprzez podłączenie do niego monitora za pośrednictwem portu HDMI możliwe jest wyświetlanie treści z pulpitu komputera, a dzięki urządzeniom peryferyjnym, takim jak mysz komputerowa oraz klawiatura, sterowanie urządzeniem. Jednak, przy takiej aplikacji urządzenia jak jednostka centralna platformy mobilnej, byłoby to rozwiązanie wyjątkowo niepraktyczne.

Do zdalnej kontroli nad urządzeniem wykorzystano system przekazywania obrazu graficznego VNC (ang. *Virtual Network Computing*). Ten sposób komunikacji jest obsługiwany przez większość dzisiejszych systemów operacyjnych, więc nie jest istotne, na jakim systemie operacyjnym będzie pracował komputer odbierający obraz [9].

Aby możliwe było połączenie się z jednostką systemową platformy mobilnej, konieczna jest instalacja programu obsługującego ten sposób komunikacji na urządzeniu odbierającym obraz.

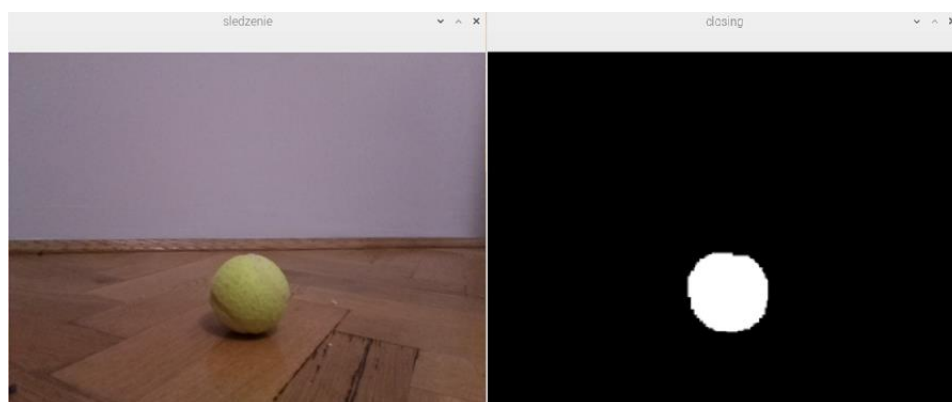
## 4.2. Wybór śledzonego obiektu – podprogram kalibracyjny

Jednym z najłatwiejszych sposobów, aby wyróżnić obiekt na obrazie jest jego rozróżnienie na podstawie koloru. Jest to odpowiednie dla obiektów, których barwa jest jednorodna na całej powierzchni. Algorytm sterowania bazuje na śledzeniu właśnie takich obiektów. Mogą nimi być odpowiednio przygotowane znaczniki, przedmioty codziennego użytku czy nawet części ubrań. Aby wyróżnić śledzony obiekt na obrazie zbieranym przez moduł kamery konieczne jest odpowiednie przetworzenie obrazu wideo.

Kamera przesyła obraz do urządzenia w formacie przestrzeni barw BGR (ang. *Blue Green Red*). Na obrazach o tym sposobie reprezentacji barw, problematycznym jest odnalezienie regionów o charakterystycznym kolorze. Aby umożliwić wyróżnienie takich regionów program dokonuje konwersji każdej z pobranych klatek do przestrzeni barw HSV (ang. *Hue Saturation Value*). Ten model opisu przestrzeni barw przedstawiają trzy składowe, które biblioteka funkcji programistycznych OpenCV, definiuje w odpowiednich zakresach. Hue – odcień światła wyrażany w zakresie wartości 0–179, Saturation – nasycenie koloru wyrażane w zakresie wartości 0–255, Value moc światła białego wyrażana w zakresie wartości 0–255 [10]. Każda składowa zostaje rozdzielona na pojedynczy kanał a każdy z pikseli na danym kanale poddany jest progowaniu.

Dla okien wyświetlających obraz z każdego kanału zostały utworzone suwaki. Wartości, jakie zostaną na nich ustawione, określają zakres dla każdej ze składowych. Jeżeli wartość składowej piksela znajduje się w przedziale ustawionym przez użytkownika, to zostanie mu przypisana wartość 1 (zostanie wyświetlony w oknie, jako biały), jeśli nie, to wartość 0 (zostanie wyświetlony w oknie, jako czarny).

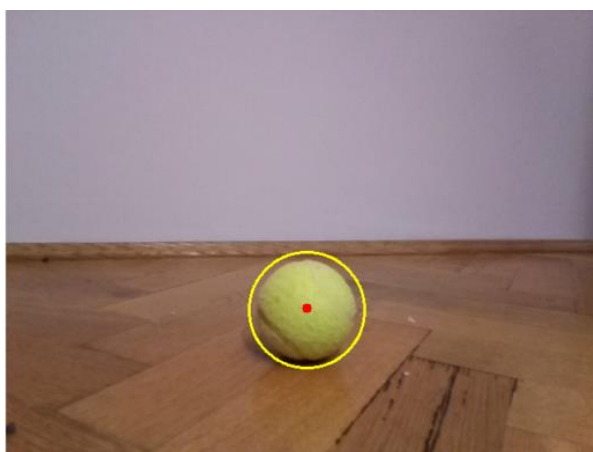
Aby wykorzystać wszystkie dostępne dane, konieczne jest wykonanie operacji bitowej AND pomiędzy odpowiadającymi sobie pikselami ze wszystkich kanałów. Jeżeli dany piksel na każdym z kanałów ma wartość równą jeden (jest biały) to zostanie on również przedstawiony na finalnym obrazie wykorzystywanym w dalszej części programu. Uzyskany obraz jest następnie poddany dalszej obróbce w celu usunięcia zniekształceń oraz szumów.



Rys. 6. Obraz w przestrzeni kolorów BRG rejestrowany przez moduł kamery i finalna mapa bitowa śledzonego obiektu

### 4.3. Określanie położenia oraz odległości obiektu

Posiadając mapę bitową przedstawiającą jedynie śledzony obiekt, można wyznaczyć minimalną średnicę okręgu, jakim można obrysować obiekt oraz położenie jego środka na obrazie widzianym przez moduł kamery.



Rys. 7. Śledzony obiekt z programowo wrysowanym minimalnym otaczającym okręgiem i środkiem

Odpowiednia funkcja z biblioteki OpenCV oblicza minimalną średnicę oraz wyznacza położenie środka, a następnie wrysowuje te parametry na zbieranym obrazie. Znając te dwa parametry można ustalić zmiany położenia obiektu względem platformy mobilnej.



#### 4.4. Program kalibracyjny

Po uruchomieniu programu sterującego pracą platformy, w pierwszej kolejności zostaje uruchomiony podprogram kalibracyjny. Wykonuje on działania omówione w rozdziałach 4.2 i 4.3. Zaakceptowanie wartości ustalanych w oknach kanałów H, S i V uruchamia główną pętlę programu, która śledzi obiekty w zdefiniowanych zakresach. Z podprogramu kalibracyjnego zostaje zapamiętana również średnica, która posłużyła do rysowania okręgu wokół śledzonego obiektu, widoczna na rysunku 7. Służy ona do oceniania zmian odległości pomiędzy platformą mobilną a śledzonym obiektem. Gdy średnica rysowanego okręgu wzrośnie w stosunku do wartości początkowej, będzie to oznaczało, że obiekt jest bliżej, gdy się zmniejszy, że jest dalej.

#### 4.5. Główna pętla programu sterującego

W trakcie działania głównej pętli programu w dalszym ciągu wykonywane jest przetwarzanie obrazu mające miejsce w programie kalibracyjnym. Nie ma jednak możliwości zmiany śledzonego celu. Parametry go opisujące zostają pobrane z podprogramu kalibracyjnego. Jedynym oknem wyświetlanym przez komputer jest to z aktualnie widzianym obrazem z zaznaczonym celem, tak jak na rysunku 7. oraz komunikaty tekstowe informujące o prędkości i kierunku obrotu silników dobieranych na podstawie zmian średnicy okręgu wykreślanego wokół śledzonego obiektu oraz jego środka. Zadawanie parametrów pracy silników odbywa się poprzez programowe ustawianie odpowiednich stanów logicznych na szynie portów GPIO na którą nałożony jest sterownik, który steruje pracą silników.

Po pobraniu kolejnej klatki obrazu wyznaczana jest średnica okręgu rysowanego wokół śledzonego obiektu i następuje porównanie jej wartości z zapamiętaną z programu kalibracyjnego (ocena odległości). Następnie wyznaczany jest geometryczny środek śledzonego obiektu (ocena położenia w osi poziomej względem platformy mobilnej) oraz zadanie parametrów pracy silników na podstawie zmian tych wartości, aż do chwili pobrania następnej klatki obrazu i ponownego wykonania tej operacji. Platforma wykonuje ruch aż do chwili, gdy środek śledzonego obiektu znajdzie się w centralnej części obrazu oraz aż do chwili, gdy średnica okręgu rysowanego na obrazie będzie równa wartości zapamiętanej z podprogramu kalibracyjnego. Platforma przestanie wykonywać ruch również w chwili, gdy nie będzie w stanie znaleźć żadnego obiektu zgodnego z parametrami zadanymi w programie kalibracyjnym.

Można wyróżnić sześć rodzajów ruchu platformy mobilnej: hamowanie, jazda do przodu, jazda do przodu + skręcanie, jazda do tyłu, jazda do tyłu + skręcanie, obracanie w miejscu. Skręcanie podczas jazdy jest możliwe dzięki uzależnieniu prędkości silników od poziomu oddalenia środka obiektu od centralnej części obrazu. Im bardziej obiekt będzie oddalany na którąś ze stron

tym bardziej zwalniać będzie odpowiedni silnik, co umożliwi korektę trajektorii ruchu platformy. Prędkość wykonywanego ruchu uzależniona jest także od tego jak bardzo oddalił się śledzony obiekt, przez co dojeżdżając do zadanej pozycji platforma będzie stopniowo zwalniać. W sytuacji, w której obiekt jest w odpowiedniej odległości, lecz nie znajduje się w centralnej części obrazu następuje obrót w miejscu, który odbywa się przez zmianę kierunku obrotów jednego z silników zależnie od tego po której stronie obrazu znajduje się obiekt.

## 5. Podsumowanie

W ramach niniejszej pracy zaprojektowano, wykonano oraz przetestowano automatyczny system nawigacji platformy mobilnej wykorzystujący śledzenie obiektu. Automatyzacja procesu sterowania znacznie ogranicza zakres działań operatora, który sprowadza się do przeprowadzenia kalibracji urządzenia.

Oprócz samej budowy urządzenia oraz sporządzenia dla niego oprogramowania sterującego, istotnym jest również sprawdzenie poprawności jego działania zależnie od różnych warunków pracy. Najważniejszym problemem wynikłym podczas testów były nagłe losowe zmiany obiektu, za którym podążała platforma. Źródłem tych zmian były szumy oraz zniekształcenia pobieranego obrazu wideo. Ten problem został częściowo rozwiązany poprzez zastosowanie odpowiednich przekształceń oraz filtracji obrazu oraz poprzez implementację priorytetowości większych obszarów obrazu wykazujących cechy śledzonego obiektu. Dodatkowo wprowadzono ograniczenie, które nie uznaje obszarów za śledzony cel, jeżeli minimalna średnica okręgu, jaką można wokół niego wyrysować jest mniejsza niż 10. Wprowadzenie wyżej wymienionych poprawek rozwiązało większość problemów wytworzonego systemu.

Wykonany system ma dużo potencjalnych zastosowań. Przy odpowiednim dostosowaniu mógłby być użyteczny w wielu dziedzinach gospodarki, a także znaleźć zastosowanie przez osoby prywatne w codziennych czynnościach.

## Literatura

- [1] Szeliski R., *Computer Vision, Algorithms and Applications*, Springer Science & Business Media, Londyn, 2010.
- [2] Wang Y. i inni, *Autonomous mobile robot navigation system designed in dynamic environment based on transferable belief model*, Measurement, Nr 44(8)/2011, s. 1389–1405.

- [3] Paunski Y., Angelov G., *Performance and power consumption analysis of low-cost single board computers in educational robotics*, IFAC-PapersOnLine, Nr 52(25)/2019, s. 424–428.
- [4] Specyfikacja oraz wygląd sterownika silników Pololu DRV8835.  
<https://www.pololu.com/product/2753> (dostęp: 17.01.2020).
- [5] Informacje o bibliotece funkcji programistycznych OpenCV.  
<https://opencv.org/about/> (dostęp: 17.01.2020).
- [6] Gelb J., i inni, *Multi-scale 3D investigations of a commercial 18650 Li-ion battery with correlative electron- and X-ray microscopy*, Journal of Power Sources, Nr 357/2017, s. 77–86.
- [7] Specyfikacja oraz wygląd przetwornicy napięcia Pololu D24V22F5.  
<https://www.pololu.com/product/2858> (dostęp: 17.01.2020).
- [8] Specyfikacja modułu kamery Raspberry Pi camera V2.  
<https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/camera/>  
(dostęp: 17.01.2020).
- [9] Richardson T. i inni, *Virtual network computing*, IEEE Internet Computing, Nr 2(1)/1998, s. 33–38.
- [10] Shuhua L., Gaizhi G., *The application of improved HSV color space model in image processing*, 2nd International Conference on Future Computer and Communication, Wuha, 2010, s. V2-10–V2-13.

**Jakub KISAŁA**

Studenckie Koło Naukowe Semicon

## **BADANIA WŁAŚCIWOŚCI FERROMAGNETYCZNYCH REZYSTORÓW CIENKOWARSTWOWYCH**

### **1. Magnetoelektronika**

Magnetoelektronika to jedna z licznych dziedzin interdyscyplinarnych, a więc będąca synergią kilku dziedzin, których zestawienie pozwala otrzymać rezultaty niemożliwe do osiągnięcia w każdej z tych dziedzin z osobna. W przypadku magnetoelektroniki mówimy o zestawieniu ze sobą wiedzy z dziedziny elektroniki oraz zjawisk magnetycznych. W elektronice głównym nośnikiem informacji jest elektron, a właściwie jego ujemny ładunek. W magnetoelektronice ładunek elektronu jest także kluczowy, jednak dodatkową użyteczną własnością elektronu jest jego spin. Z racji tego magnetoelektronika zwana jest także elektroniką spinową lub spintroniką [5].

### **2. Spin**

W mechanice klasycznej ciężko znaleźć odpowiednik właściwości jaką jest spin. Można go określić jako wewnętrzny kwantowy moment magnetyczny cząstki. Najczęściej spin cząstki porównywany jest do jej obrotu względem własnej osi; jednak jest to wytłumaczenie mające na celu jedynie sensowne wyobrażenie spinu. Tłumaczenie to wynika z prostego ciągu myślowego: prąd przepływający w przewodzie powoduje powstanie wokół niego stałego pola magnetycznego – najczęściej prąd jest wynikiem przewodnictwa elektronowego, a więc ruchu elektronów w przewodniku. Skoro pojedynczy elektron posiada zauważalne własności magnetyczne nie zmieniając swojego położenia w przestrzeni, wydaje się logiczne, w celu wyobrażenia sobie tego zjawiska, wyjaśnienie jego właściwości magnetycznym ruchem, który może wykonać, a więc obrotem wokół własnej osi. Ruch ten jednak odbywa się w abstrakcyjnej przestrzeni spinowej.

Własności magnetyczne elektronów wykazane zostały w słynnym doświadczeniu Sterna-Gerlacha [8]. W eksperymencie tym, atomy srebra (nieparzysta liczba elektronów w cząsteczce – 47) zostały przepuszczone przez niejednorodne pole magnetyczne w celu obserwacji obrazu wiązki na ekranie. Jeden elektron srebra decydował o spinie całej cząsteczki srebra.

Wyniki doświadczenia pozwoliły stwierdzić istnienie kwantowania momentu pędu (jak też określane jest spin). Wiązka na ekranie rozszczepiona została na dwie składowe; wynika to z faktu, że elektron może przyjmować dokładnie dwa zauważalne stany: spin górny i spin dolny, które w literaturze oznaczane są odpowiednio:  $\uparrow$  i  $\downarrow$ , a dokładniej:  $|\uparrow\rangle$  i  $|\downarrow\rangle$  - specyficzne nawiasy określają stan układu, który jest wektorem z przestrzeni Hilberta.

Spin elektronu, jak i każdej innej cząstki, opisywany jest liczbowo poprzez tzw. liczby spinowe. Liczba spinowa elektronu wynosi  $\frac{1}{2}$ , co oznacza, że elektron może przyjmować jeden z dokładnie dwóch stanów spinowych. Liczba spinowa elektronu jest liczbą ułamkową, a więc cząsteczka ta nazywana jest fermionem. Cząsteczki, których liczba spinowa równa jest liczbie całkowitej, określane są mianem bozonów – np. fotony.

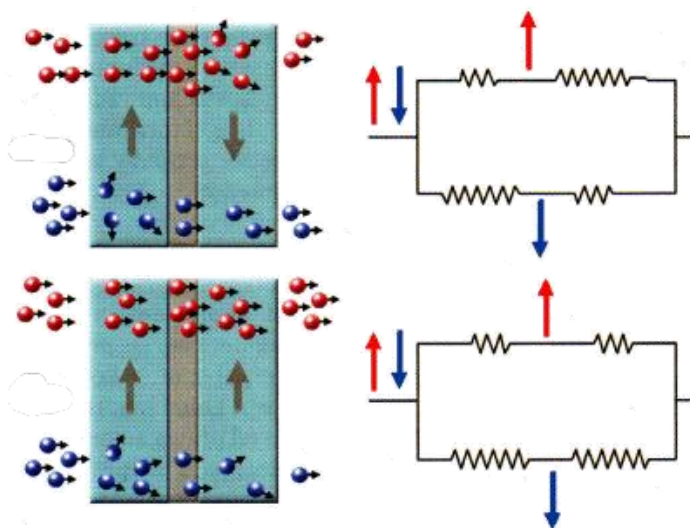
### 3. Gigantyczny magnetoopór

Jednym z podstawowych zjawisk elektroniki spinowej jest magneto-rezystancja (MR), zwana także magnetooporem. Zjawisko to polega na zmianie rezystancji elementu pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego. Wyróżnić można kilka rodzajów magnetooporu, które różnią się między sobą efektami zachodzącymi w materiałach. Można mówić o magneto-rezystancji anizotropowej (AMR), w przypadku której opór elektryczny materiału zależy od kierunku prądu elektrycznego względem kierunku namagnesowania  $M$  [6]. Wyróżniane są także magnetoopór tunelowy (TMR) oraz gigantyczny magnetoopór (GMR), którego odkrycie w 1988 roku znacząco przyspieszyło rozwój spintroniki [1], [4].

Źródłem fizycznym gigantycznego magnetooporu jest zależność rozpraszania elektronów od spinu. Zjawisko to występuje w strukturach warstwowych tworzonych naprzemiennie przez materiał ferromagnetyczny oraz materiał niemagnetyczny np. diamagnetyk. Elektrony o danej orientacji spinu rozpraszane są słabo w warstwach ferromagnetycznych, w których domeny magnetyczne są zgodne ze spinem tych elektronów, zaś rozpraszane są silniej w warstwie o przeciwnym namagnesowaniu. Na rysunku 1 przedstawiono opisane zależności dla dwóch przypadków pojedynczej struktury warstwowej ferromagnetyk-diamagnetyk-ferromagnetyk. Na pierwszej ilustracji pokazano tzw. antyrównoległą konfigurację warstw ferromagnetycznych – w jednej z warstw mocniej rozpraszane będą elektrony o spinie dolnym, a w drugiej elektrony o spinie górnym. Konfiguracja równoległa domen magnetycznych obu warstw ferromagnetycznych powoduje, że w obu warstwach elektrony ze jednym spinem będą rozpraszane słabiej niż elektrony o spinie odwrotnym (na rysunku 1 elektrony o spinie  $|\uparrow\rangle$  są rozpraszane w warstwach ferro-

magnetycznych słabiej od elektronów ze spinem  $|\downarrow\rangle$ ). Ustawienie domen magnetycznych w warstwach struktury może być regulowane poprzez umieszczenie jej w stałym polu magnetycznym. Zamodelowanie zachodzących zjawisk najprostszym układem rezystorów połączonych szeregowo oraz równoległe także zostało ukazane na rysunku 1.

Rezystancja zastępcza układu dwóch równoległych rezystancji (o stałej sumie) osiąga ekstremum dla równych wartości obu rezystancji – sytuacja taka zachodzi dla antyrównoległej konfiguracji domen magnetycznych pojedynczej struktury warstwowej. I dla takiej właśnie konfiguracji rezystancja zastępcza całej próbki jest największa. Dodatkowo, rezystancja zastępcza połączenia równoległego rezystancji jest zawsze mniejsza od najmniejszej z rezystancji tworzących to połączenie. Podobnie jest w przypadku konfiguracji równoległej struktury warstwowej. Pomimo faktu, że spin dolny rozpraszany jest silnie w obu warstwach ferromagnetycznych, to elektrony o spinie odwrotnym, górnym, w obu warstwach są rozpraszane mniej – materiał ferromagnetyku ogranicza ich ruch w mniejszym stopniu. Taka polaryzacja transportu elektronów powoduje spadek rezystancji całej struktury.



Rys. 1. Zjawisko gigantycznego magnetooporu [7]

Poprawnie zaprojektowane, a następnie wyprodukowane struktury wielowarstwowe wykazujące zjawisko gigantycznego magnetooporu powinny być zatem w neutralnym stanie w konfiguracji antyrównoległej. Można to osiągnąć poprzez nanoszenie poszczególnych warstw ferromagnetyku przy jednoczesnych zaaplikowaniu stałego pola magnetycznego [3]. Spowoduje to ułożenie się domen magnetycznych napylanej warstwy ferromagnetycznej w zadanym przez polu kierunku.

#### 4. Technologia rezystorów cienkowarstwowych

W ramach niniejszych badań wykonany został szereg pojedynczych struktur wielowarstwowych metodą napyłania magnetronowego. Wyniki eksperymentów przedstawionych w dalszej części pracy dotyczą jednej z wytworzonych próbek.

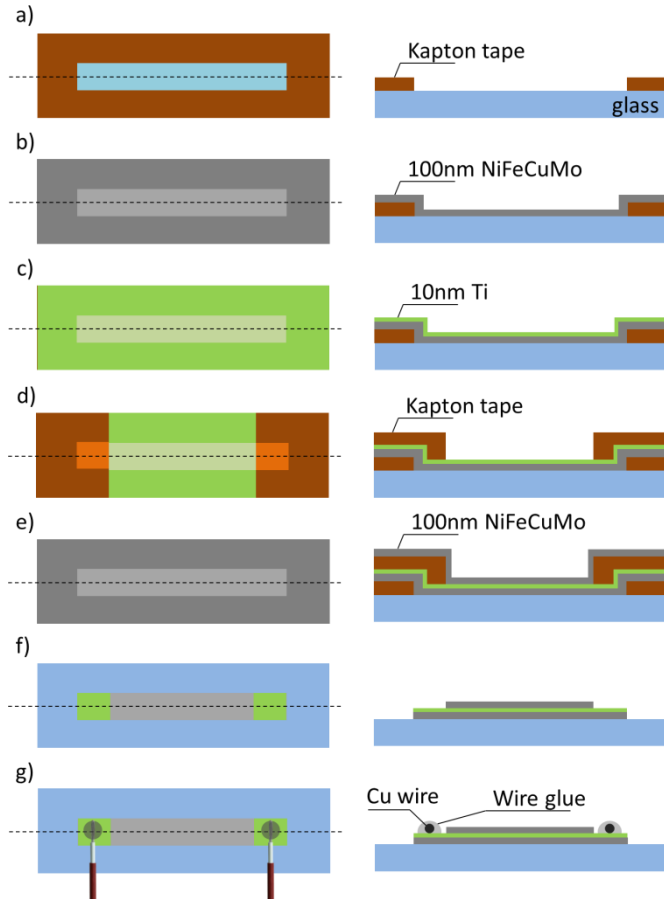
##### 4.1. Napyłanie magnetronowe

Napyłanie magnetronowe, określane także jako napyłanie w polu magnetycznym, swoją nazwę zawdzięcza zastosowaniu pola magnetycznego w procesie napyłania. Cząstki materiału z tzw. targetu (źródła materiału napylanego) wybijane są na przeznaczone podłoże pod wpływem energii zjonizowanej przez silne pole elektryczne gazu. W komorze magnetronu musi być zachowany stan próżni wysokiej próżni (około  $10^{-5}$  Pa). Zastosowanie magnesów trwałych umieszczonych pod targetem skutkuje zakrzywieniem ruchu wybitych jonów materiału, co z kolei pozwala zwiększyć szybkość zachodzenia procesu rozpyłania. Metoda ta pozwala otrzymać cienkie warstwy materiałów metalicznych oraz dielektrycznych [2].

##### 4.2. Wykonanie struktur wielowarstwowych

Rezystory wielowarstwowe wykonane zostały w napyłarce NANO 36 firmy Kurt J. Lesker. Poszczególne etapy produkcji próbki oraz przygotowania jej do badań zostały przedstawione na rysunku 2. Jako podłoże dla struktur użyte zostało szkło mikroskopowe.

Taśma kaptonowa naniesiona na szkło pozwoliła nadać przyszłym próbkom zamierzone rozmiary: 10 mm długości i 1 mm szerokości próbki (a). Następnie, w wyniku napyłania magnetronowego na szklane podłoże napyłona została warstwa ferromagnetyka – żelazo-niklu (NiFe) – o grubości 100 nm (b). Ścisłe mówiąc, wykorzystany został target NiFeCuMo, jednak zawartość miedzi i molibdenu jest szczątkowa, dlatego w dalszej części pracy udział tych pierwiastków był pomijany. Parametry napyłania: ciśnienie –  $10^{-7}$  Tr, gęstość mocy plazmy –  $180 \text{ W/cm}^2$ , prędkość przepływu argonu – 100 sccm, wskaźnik osadzania  $0,3 \text{ \AA/s}$ , czas napyłania – 57 min.



Rys. 2. Sekwencja procesów wytwarzania rezystora cienkowarstwowego

Kolejną napyłaną warstwą była warstwa tytanu o grubości 10 nm (c). Czystość zastosowanego materiału wynosiła 98,4%. Gęstość mocy plazmy została obniżona do  $80 \text{ W/cm}^2$ , wskaźnik osadzania wynosił  $0,1 \text{ \AA/s}$ , a cały proces napyłania trwał około 15 minut. W celu uzyskania kontaktów rezystora ponownie użyta została taśma kaptonowa (d). Ponownie przeprowadzony został proces napyłania ferromagnetyka NiFe (e) o grubości 100 nm (parametry identyczne jak podczas napyłania warstwy pierwszej). Usunięcie obu warstw taśmy kaptonowej pozwoliło uzyskać zamierzony kształt struktur (f). Aby możliwe były dalsze badania niezbędne było połączenie kontaktów rezystora z przewodami miedziovymi (g). Odpowiednim spoiwem okazała się pasta węglowa. Ostatecznie uzyskano pojedyncze struktury cienkowarstwowe NiFe/Ti/NiFe (ferromagnetyk–paramagnetyk–ferromagnetyk) o wymiarach:  $10 \text{ mm} \times 1 \text{ mm} \times 210 \text{ nm}$ .

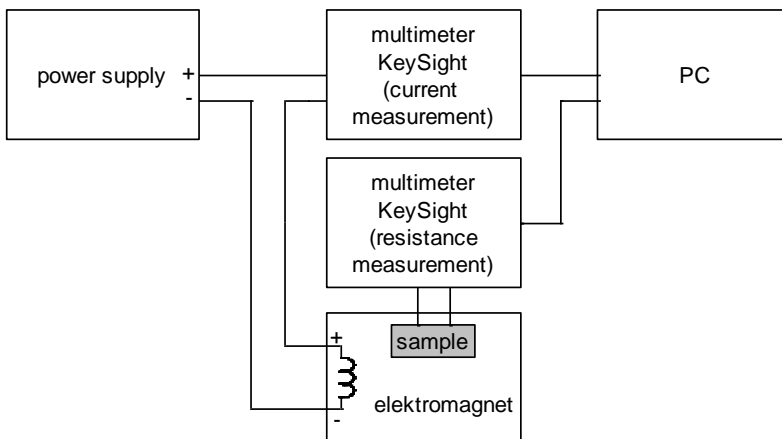


## 5. Metodologia badań

Jedna z wytworzonych próbek została poddana pomiarom rezystancji w zależności od indukcji stałego pola magnetycznego. Stałe pole magnetyczne otrzymywano w dwojaki sposób: (1) poprzez zastosowanie dwóch magnesów neodymowych oraz (2) dzięki zastosowaniu elektromagnesu.

### 5.1. Stanowisko pomiarowe

Na stanowisko pomiarowe składała się badana próbka, multimetr KeySight 34410A do pomiaru rezystancji badanej struktury, który współpracował ze środowiskiem LabView oraz jednostka komputerowa magazynująca dane. W przypadku zastosowania magnesów neodymowych, w celu uzyskania różnych wartości pola magnetycznego, magnesy zamontowano w imadle, które umożliwiało regulację ich wzajemnych odległości, a więc także wartości indukcji pola magnetycznego.

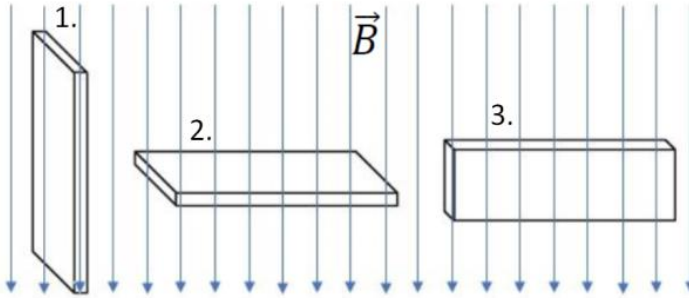


Rys. 3. Schemat stanowiska pomiarowego (z elektromagnesem jako źródłem pola magnetycznego)

Gdy jako źródło pola magnetycznego wykorzystywany był elektromagnes (Rys. 3), dodatkowo w skład stanowiska wchodził zasilacz cewki elektromagnesu oraz drugi multimetr, także współpracujący ze środowiskiem LabView. Jego rolą był pomiar natężenia prądu cewki elektromagnesu.

### 5.2. Pozycjonowanie próbki w polu magnetycznym

Struktura była badana w trzech różnych pozycjach względem wektora indukcji magnetycznej stałego pola magnetycznego. Pozycje te przedstawione zostały na rysunku 4.



Rys. 4. Pozycje próbek w polu magnetyczny, 1 – pozycja pionowa, 2 – pozycja płaska, 3 – pozycja pozioma

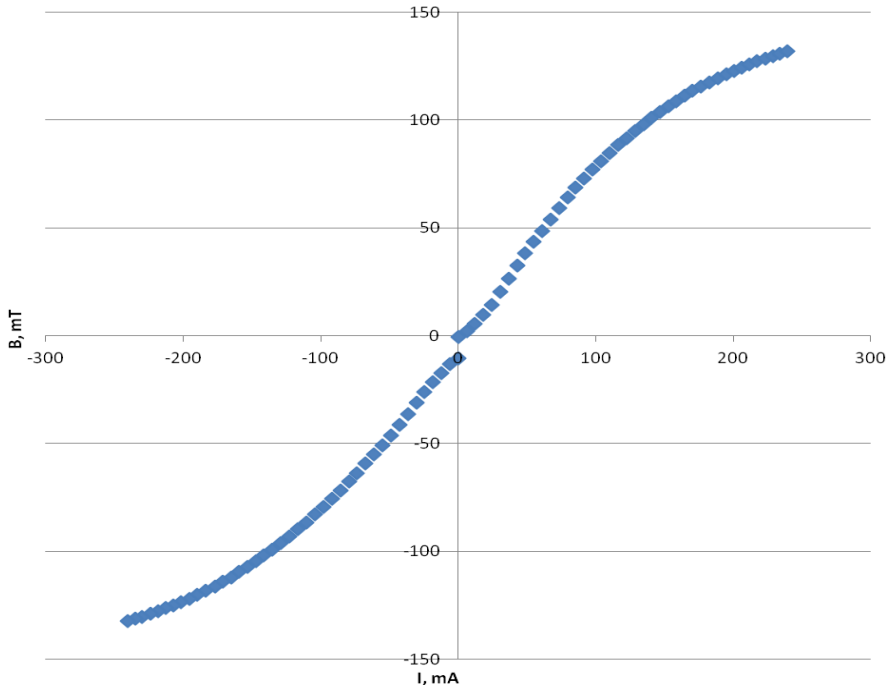
### 5.3. Etapy badań

Pomiary przeprowadzone zostały w 3 etapach:

1. Pomiar rezystancji struktury w stałym polu magnetycznym elektromagnesu o zadanej stałej wartości indukcji pola magnetycznego  $B$  (ok. 0,13 T) dla dwóch pozycji struktury. Próbka była wprowadzana do pola oraz z niego wyprowadzana w interwałach pięciosekundowych; w każdej z pozycji następował pomiar rezystancji struktury,
2. Pomiar rezystancji struktury w stałym polu magnetycznym wytworzonym przez parę magnesów neodymowych o zadanej stałej wartości indukcji pola magnetycznego  $B$  (ok. 0,5 T) dla dwóch pozycji struktury. Próbka była wprowadzana do pola oraz z niego wyprowadzana w interwałach pięciosekundowych; w każdej z pozycji następował pomiar rezystancji struktury,
3. Pomiar rezystancji struktury w stałym polu magnetycznym elektromagnesu dla wartości napięcia zasilania cewki elektromagnesu od 0 V do 400 V z krokiem 10 V dla trzech pozycji próbki. Dla każdej z wartości napięć wykonanych została seria 100 pomiarów rezystancji w celu redukcji pojedynczych błędów pomiarowych. Dla każdej z pozycji pomiary próbki wykonywane były dla dwóch polaryzacji napięcia zasilania.

### 5.4. Charakterystyka elektromagnesu

Wartość indukcji pola magnetycznego wytwarzanego przez elektromagnes zależy od prądu cewki, którego wartość regulowana jest przez wartość napięcia zasilania cewki. Charakterystyka  $B(I)$  została przedstawiona na rysunku 5. Możliwa była ona do wyznaczenia za pomocą teslometru GM08 firmy Hirst Magnetics. W dalszej części pracy wyniki pomiarów rezystancji przedstawione zostały w zależności od prądu cewki, co znacznie usprawniło proces pomiarów.

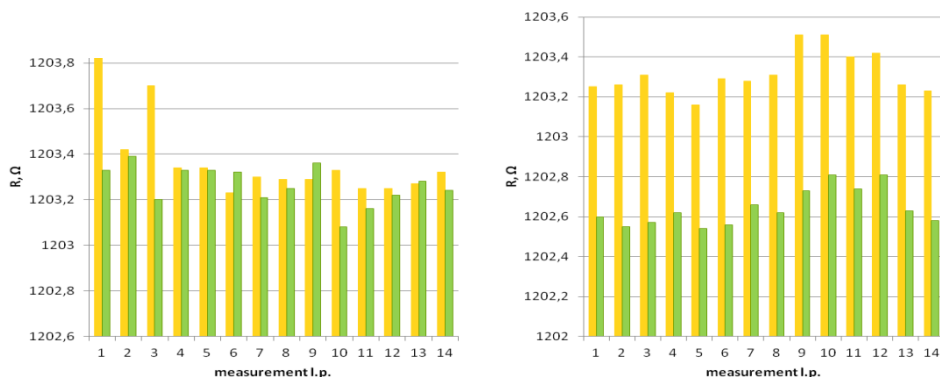


Rys. 5. Charakterystyka elektromagnesu  $B(I)$

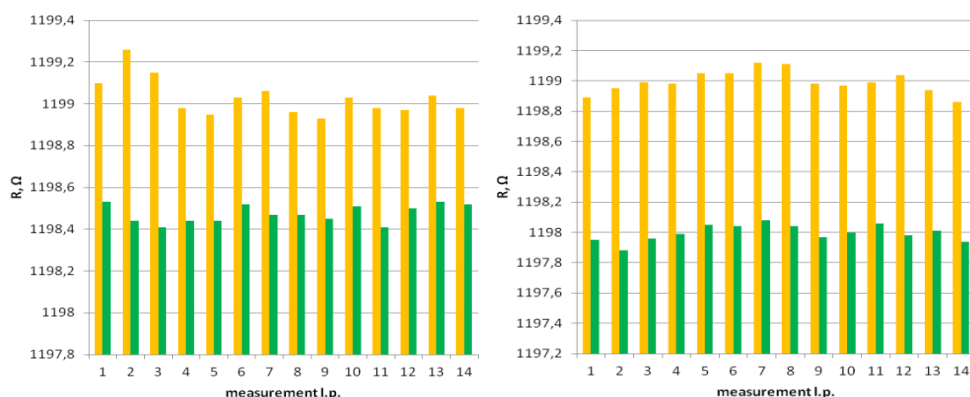
## 6. Wyniki badań

W pierwszym etapie pomiarów, indukcja pola magnetycznego etapu pierwszego pomiarów była stała i wynosiła ok. 0,13 T. Wyniki pomiarów przedstawione zostały na rysunku 6. Dla położenia pionowego próbki widoczny jest spadek rezystancji wynoszący około 0,6  $\Omega$ , gdy próbka znajdowała się w polu magnetycznym. W przypadku pozycji płaskiej próbki ciężki stwierdzić znaczące różnice między wartością rezystancji próbki znajdującej się w polu i poza polem magnetycznym.

W drugim etapie pomiarów zastosowane pole magnetyczne było o kilkukrotnie większej wartości indukcji ( $B \approx 0,5$  T) i pozwoliło zaobserwować zwiększone różnice rezystancji struktury w polu magnetycznym i poza nim w stosunku do wcześniejszych pomiarów w elektromagnesie (Rys. 7). Dla pozycji pionowej próbki różnice te wynoszą 1  $\Omega$ . Dodatkowo widoczne są różnice dla płaskiego ułożenia struktury (niewykrywalne przy zastosowaniu elektromagnesu w roli źródła pola magnetycznego) wynoszące około 0,5  $\Omega$ .



Rys. 6. Pomiary rezystancji w polu magnetycznym elektromagnesu ( $B \approx 13$  T),  
(a) pozycja 2 – płaska, (b) pozycja 1 – pionowa

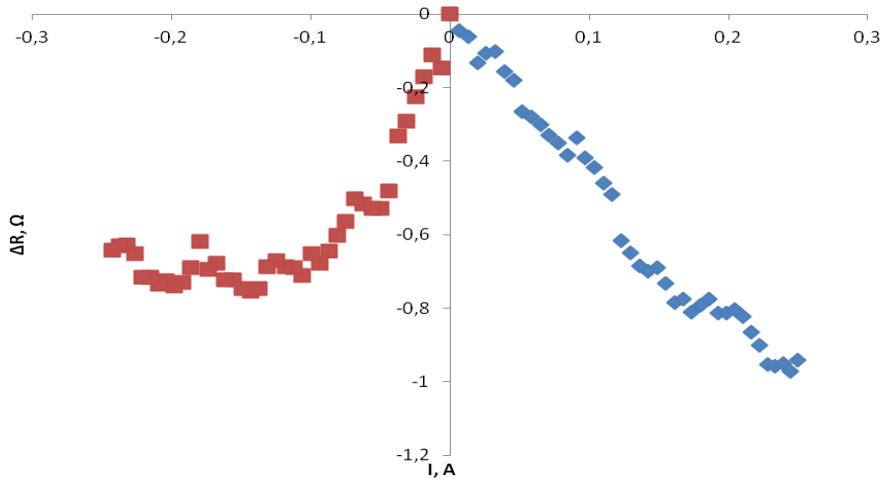


Rys. 7. Pomiary rezystancji w polu magnetycznym magnesów neodymowych ( $B \approx 0,5$  T),  
(a) pozycja 2 – płaska, (b) pozycja 1 – pionowa

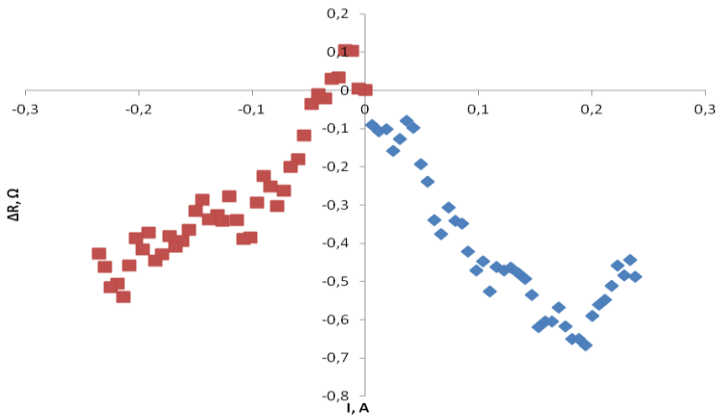
W trzecim etapie pomiarów wykorzystano zmienne pole magnetyczne przy użyciu elektromagnesu. Różnica rezystancji próbek oznaczona  $\Delta R$  określa różnicę pomiędzy rezystancją początkową dla prądu cewki elektromagnesu równego 0 A a rezystancją mierzoną dla danego prądu  $I$  cewki elektromagnesu.

Na rysunkach 8–10 przedstawiono wyniki różnicy rezystancji pomiarów dla wszystkich 3 pozycji struktury oraz dla obu polaryzacji napięcia zasilania cewki elektromagnesu. Dla wszystkich ułożeń struktury widoczny jest spadek rezystancji wraz ze wzrastającym natężeniem pola magnetycznego, w którym dana struktura NiFe/Ti/NiFe się znajduje. Najmniejsza różnica rezystancji  $\Delta R$  pomiędzy skrajnymi wartościami pola magnetycznego dla danej polaryzacji występuje w przypadku płaskiego ułożenia próbki i wynosi około  $-0,6 \Omega$ .

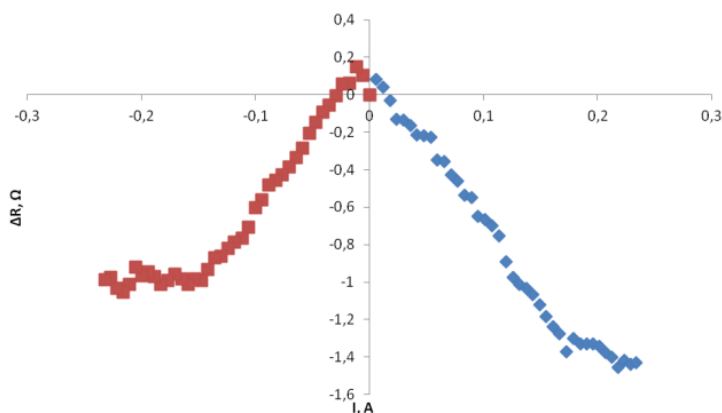
Największa różnica rezystancji osiąga wartość około  $-1,4 \Omega$ . Dla pozycji płaskiej widoczne są względnie duże różnice pomiędzy sąsiednimi wynikami pomiarów, przy ułożeniu poziomym, gdzie wartość  $\Delta R$  jest ponad dwukrotnie większa, wahania  $\Delta R$  są mniej zauważalne.



Rys. 8. Spadek rezystancji w zależności od prądu cewki elektromagnesu (a co za tym idzie; indukcji pola magnetycznego), pozycja nr 1 – pionowa



Rys. 9. Spadek rezystancji w zależności od prądu cewki elektromagnesu (a co za tym idzie; indukcji pola magnetycznego), pozycja nr 2 – płaska



Rys. 10. Spadek rezystancji w zależności od prądu cewki elektromagnesu (a co za tym idzie; indukcji pola magnetycznego), pozycja nr 3 – pozioma

Efekt magnetooporu jest widoczny, a jego intensywność zależy od ułożenia struktury względem kierunku wektora pola magnetycznego. Pomimo różnic wyznaczonych charakterystyk dla obu polaryzacji prądu, stwierdzić można, że efekt magnetorezystancji występuje niezależnie od zwrotu wektora pola magnetycznego.

## 7. Podsumowanie

Przeprowadzone badania na stworzonych strukturach warstwowych NiFe/Ti/NiFe potwierdzają przypuszczenia wobec występowania w nich efektów magnetooporu. Technologia produkcji struktur przynosi więc oczekiwane skutki. Badany wpływ ułożenia przestrzennego płytki względem pola magnetycznego pozwala stwierdzić jego niedwuznaczny wpływ na intensywność zachodzących zjawisk magnetorezystancyjnych.

## Literatura

- [1] Majumdar S., Majumdar H.S., Österbacka R., McCarthy E., *Organic Spintronics*, Comprehensive Nanoscience and Technology Vol. 1, 2011, s. 109–142.
- [2] Rosenberg R., Edelstein D. C., Hu C.-K., Rodbell K. P., *Copper metallization for high performance silicon technology*, Annual Review of Materials Science vol. 30, 2000, s. 229–262.
- [3] Chong-Jub Z., Zheng-Long W., Zhi-Duo Z., Lei D., Xing-An-Lu, Xu-Jing L., Jing-Yan Z., Guang-Hua Y., *Influence on the transport behaviours of spin-polarized*

- electrons exerted by MgO/NiFe and NiFe/MgO heterointerfaces*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol. 368, 2014, s. 59–63.
- [4] Chen, L., Zhou, Y., Lei, C., Zhou, Z. M., Ding, W., *Giant magnetoimpedance effect in sputtered single layered NiFe film and meander NiFe/Cu/NiFe film*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol. 322(19), 2010, s. 2834–2839.
- [5] Szewczyk A., Wiśniewski A., Puźniak R., Szymczak H, *Magnetyzm i nadprzewodnictwo*, PWN, Warszawa, 2012.
- [6] Barnaś J., *Spin w elektronice*, Postępy Fizyki, Tom dodatkowy 53D, Toruń 2002, s. 78–84.
- [7] [http://fizyka.net.pl/aktualnosci/aktualnosci\\_nn12.html](http://fizyka.net.pl/aktualnosci/aktualnosci_nn12.html) (dostęp 09.05.2020)
- [8] <https://chemistrygod.com/spin-quantum-number> (dostęp 09.05.2020)

**Alicja ŁYJAK, Ewelina STEŻYCKA**

Lublin, Studenckie Koło Naukowe Elektroników MICROCHIP

## **PRZEGLĄD METOD ANALIZY SYGNAŁU ELEKTROKARDIOGRAFICZNEGO ORAZ FONOKARDIOGRAFICZNEGO**

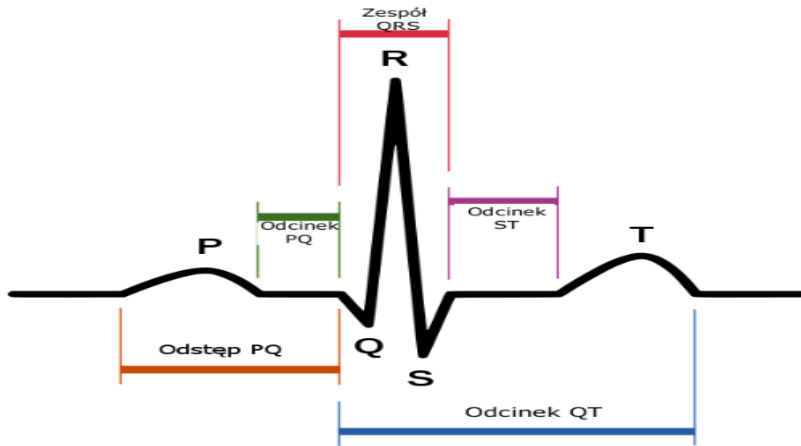
### **1. Wstęp**

Medycyna jest to istotny obszar rozwoju, który w parze z informatyką pozwala ratować ludzkie życie. Informatyzacja medycyny pozwala na łatwiejsze i co najważniejsze szybsze przetwarzanie dużych ilości danych, które pochodzą z analizy sygnału. Badania w zakresie przetwarzania oraz analizy sygnałów elektrokardiograficznych dotyczą przede wszystkim etapu filtracji wstępnej sygnałów. W tym zakresie najważniejszym jest zadanie polegające na usuwaniu zakłóceń, które z natury są zmienne w czasie, przy czym właściwości widmowe są bardzo różnorodne.

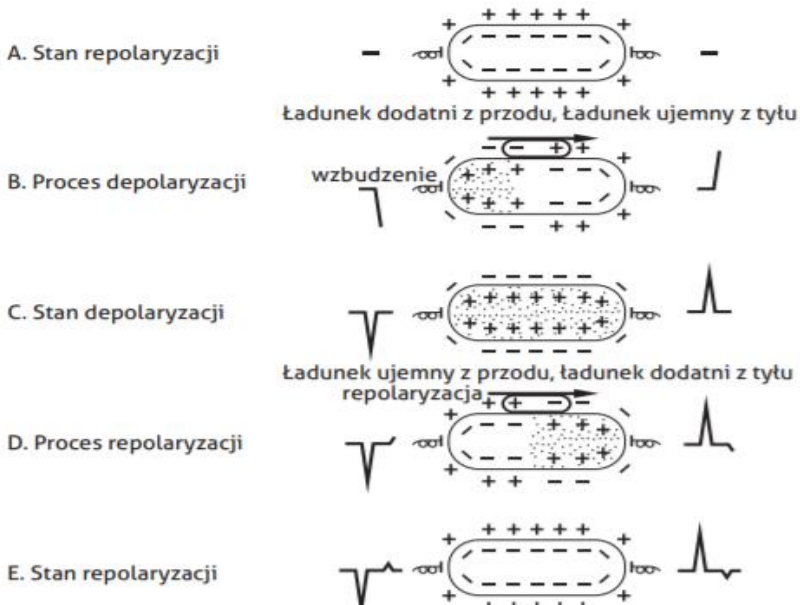
### **2. Wiadomości podstawowe**

Serce to narząd zbudowany ze swoistego mięśnia poprzecznie prążkowanego. Ma on kształt stożka. Podstawa serca jest zwrócona ku górze, zaś koniuszek ku dołowi i stronie lewej. Serce pracuje w sposób cykliczny. Cykl ten jest indukowany przez układ bodźcoprzewodzący serca, który pobudza komórki mięśnia sercowego – kardiomiocyty do skurczu w odpowiedniej kolejności, wymuszając w ten sposób przepływ krwi. Pracy mięśnia sercowego towarzyszą zjawiska elektryczne. Podczas spoczynku komórki mięśnia sercowego mają potencjał spoczynkowy wynoszący około  $-90$  mV. Bodziec działający na mięsień sercowy powoduje zmniejszenie tego potencjału do  $-65$  mV. Zmiany wielkości napięć elektrycznych można wykryć w obwodowych częściach ciała.





Rys. 1. Elektrokardiogram zdrowej osoby wraz z zaznaczonymi załamkami i odcinkami [1]



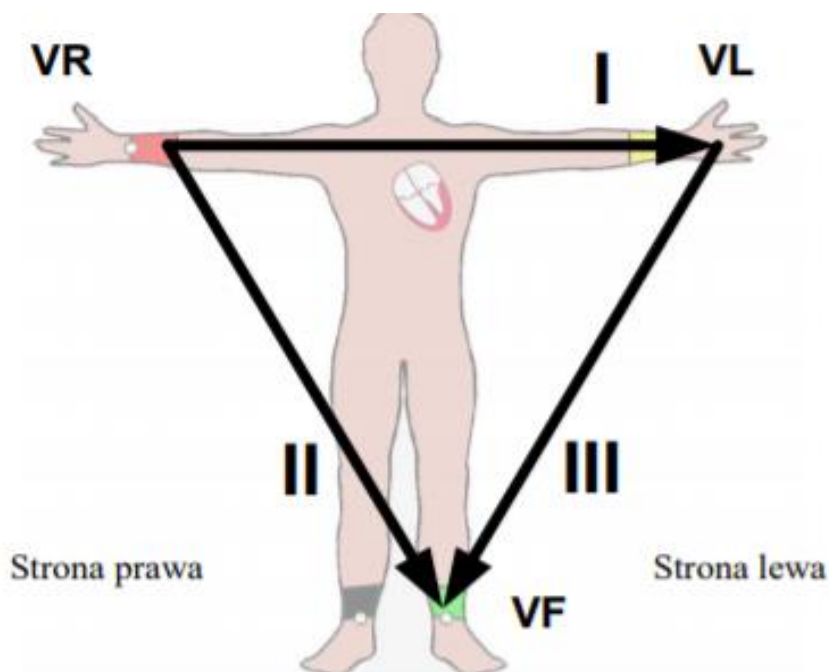
Rys. 2. Fale generowane przez komórki mięśnia sercowego w trakcie depolaryzacji i repolaryzacji [2]

Depolaryzacja mięśni przedsionków sprawia, że odpowiednio usytuowane elektrody pomiarowe rejestrują zmiany napięcia zwane załamkiem P. Podczas depolaryzacji mięśni komór elektrody rejestrują największe wahanie napięcia, czyli tak zwane QRS. Kolejne komory, które uległy depolaryzacji, podlegają repolaryzacji, natomiast elektrody pomiarowe rejestrują wychylenie zwane załamkiem T [4].

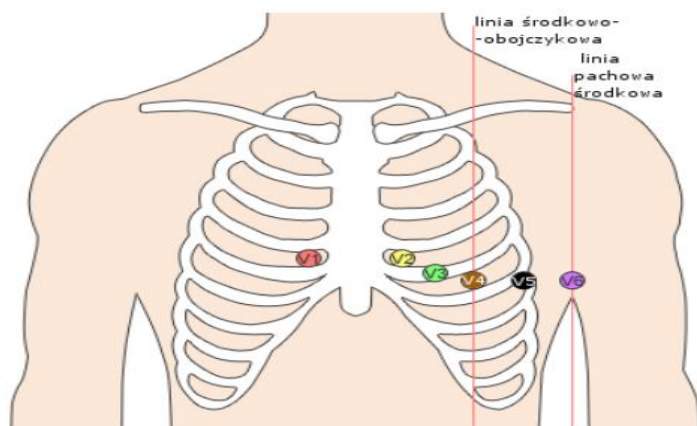
Sygnal EKG ma różny przebieg w czasie, ze względu na to, z jakich miejsc jest zbierany. Wyróżniamy 3 główne schematy połączeń elektrokardiograficznych:

1. dwubiegunowe kończynowe Einthovena – prawa ręka (czerwona), lewa ręka (żółta), lewa goleń (zielona), prawa goleń (punkt odniesienia – czarna),
2. jednobiegunowe przedsercowe Wilsona – 6 elektrod.

Jednobiegunowe Goldbergera – w tym przypadku sygnał w danym odprowadzeniu jest różnicą napięć pomiędzy elektrodą pomiarową a średnim napięciem na dwóch pozostałych elektrodach).

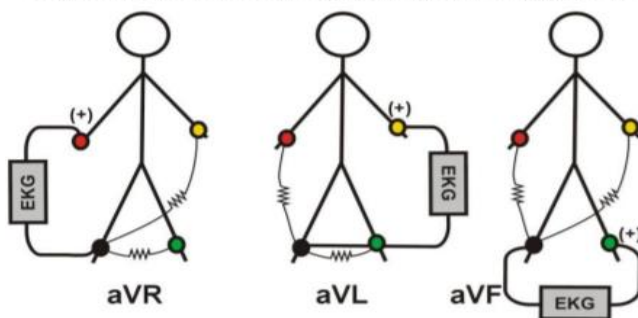


Rys. 3. Rozmieszczenie elektrod według Einthovena [3]



Rys. 4. Rozmieszczenie elektrod według Wilsona [1]

#### Odprowadzenia kończynowe jednobiegunowe



Rys. 5. Rozmieszczenie elektrod według Goldbergera [4]

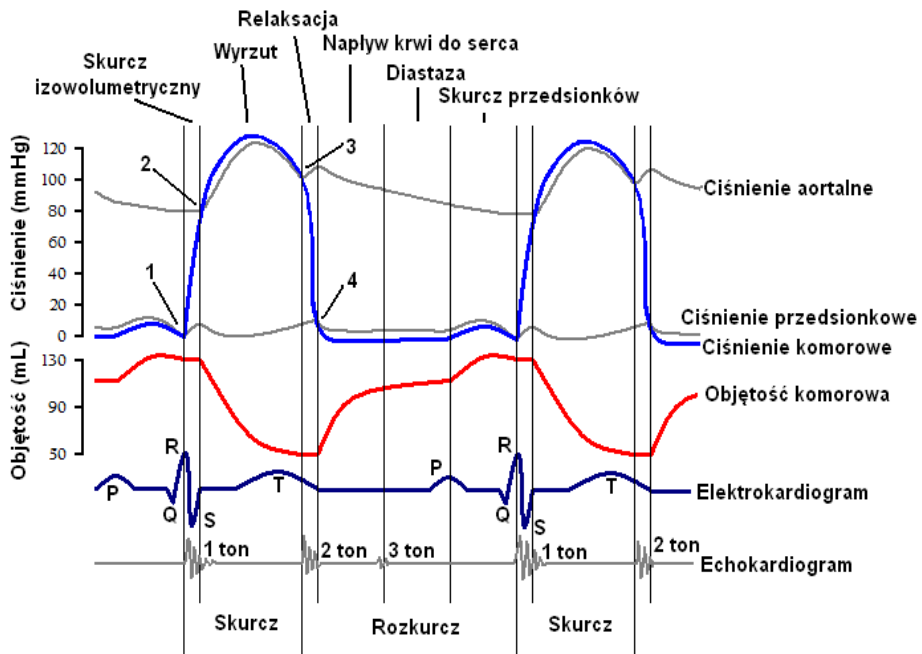
Analiza zjawisk akustycznych wytwarzanych przez kurczące się serce i przepływającą krew, pozwala rozpoznać wstępne oznaki patologii sercowo-naczyniowej [6]. Stetoskop elektroniczny umożliwia odfiltrowanie szumów oraz wzmocnienie wybranych częstotliwości. Można uzyskać odniesienie do sygnału elektrokardiograficznego. Ponadto tenże sprzęt elektroniczny umożliwia bardziej precyzyjne powiązanie zjawisk akustycznych z wybranymi zmianami chorobowymi, takimi jak zwężenia dużych naczyń, zwężenia lub nieszczelność zastawek serca, nieprawidłowe połączenia między jamami serca oraz dużymi naczyniami w różnych kombinacjach. Zapis EKG nie daje nam informacji na temat patologii zastawek. W zapisie sygnału fonokardiograficznego, zarejestrowanym u zdrowej osoby wyróżniamy dwie główne grupy dźwięków:

- pierwsza grupa, odpowiada pierwszemu tonu serca, rozpoczyna się chwilę po rozpoczęciu załamka Q w EKG i trwa maksymalnie 160 ms, cechuje się dwiema składowymi o niskich częstotliwościach i dwiema składowymi

o wyższych częstotliwościach. Drgania o wyższych częstotliwościach tworzą się w czasie zamknięcia zastawki dwudzielnej i trójdzielnej.

- druga grupa, odpowiada drugiemu tonu, rozpoczyna się w przy końcu załamka T, charakteryzuje się ona dwiema składowymi. Pierwsza z nich powstaje w trakcie zamknięcia zastawki aortalnej i wyprzedza drugą, powstającą podczas zamknięcia zastawki pnia płucnego. Nieprawidłowe odstępy między tymi składowymi są ważnym elementem różnicującym w fonokardiografii.

Amplituda i częstotliwość tonów serca i szmerów, mających związek z nieprawidłowym przepływem krwi, są ważnymi cechami fizycznymi, dzięki którym jesteśmy w stanie określić stan kliniczny badanego układu krwionośnego.

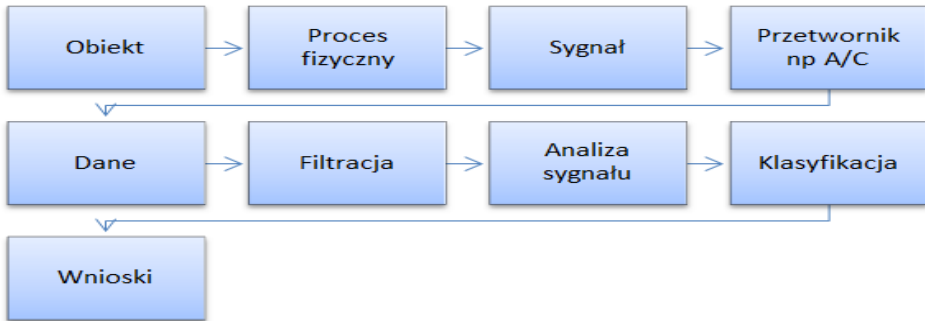


Rys. 6. Schemat Wiggera przedstawiający zdarzenia cyklu serca występujące w lewej komorze [16]

### 3. Tor akwizycji, przetwarzania i analizy sygnału

Obiektem badanym jest to serce. Generuje ono sygnał, będący wynikiem danego procesu fizycznego. Akwizycji sygnału dokonujemy wykorzystując wzmacniacz napięciowy przy badaniu EKG, bądź też przez mikrofon

w przypadku analizy dźwięku serca. Po przejściu tego sygnału przez przetwornik analogowo-cyfrowy dostajemy dane, które poddajemy analizie. To znaczy wykonujemy odszumianie, filtrację oraz odrzucenie błędów. Następnie możemy przetworzyć te dane. Po przetwarzaniu wyciągamy z tego sygnału potrzebne nam informacje, klasyfikujemy je i wyciągamy wnioski. My skupimy się na analizie oraz klasyfikacji.



Rys. 7. Schemat postępowania z sygnałem

## 4. Metody analizy sygnału EKG

### 4.1. Przetwarzanie wstępne

Pierwszy etap przetwarzania sygnału EKG polega na odpowiednim przygotowaniu go do dalszej analizy. Najczęściej spotykane operacje polegają na [8]:

- filtrowaniu sygnału EKG celem usunięcia szumów (filtry adaptacyjne, filtry górno i dolno przepustowe, transformata falkowa),
- filtrowaniu sygnału EKG celem usunięcia składowej napięcia sieciowego: 50 Hz (Europa) lub 60 Hz (Ameryka),
- usunięcie pływającej izoliny i szumów (transformata falkowa),
- normalizacji amplitudy sygnału EKG,
- usunięciu (odejmowaniu) średniej (składowej stałej) sygnału [7]:

$$D(j, n) = R(j, n) - N(j, n) \quad (1)$$

gdzie:  $R(j, n)$  – próbki reprezentujące sygnał surowy,  $N(j, n)$  – próbki reprezentujące czasowo-częstotliwościowy model szumu.

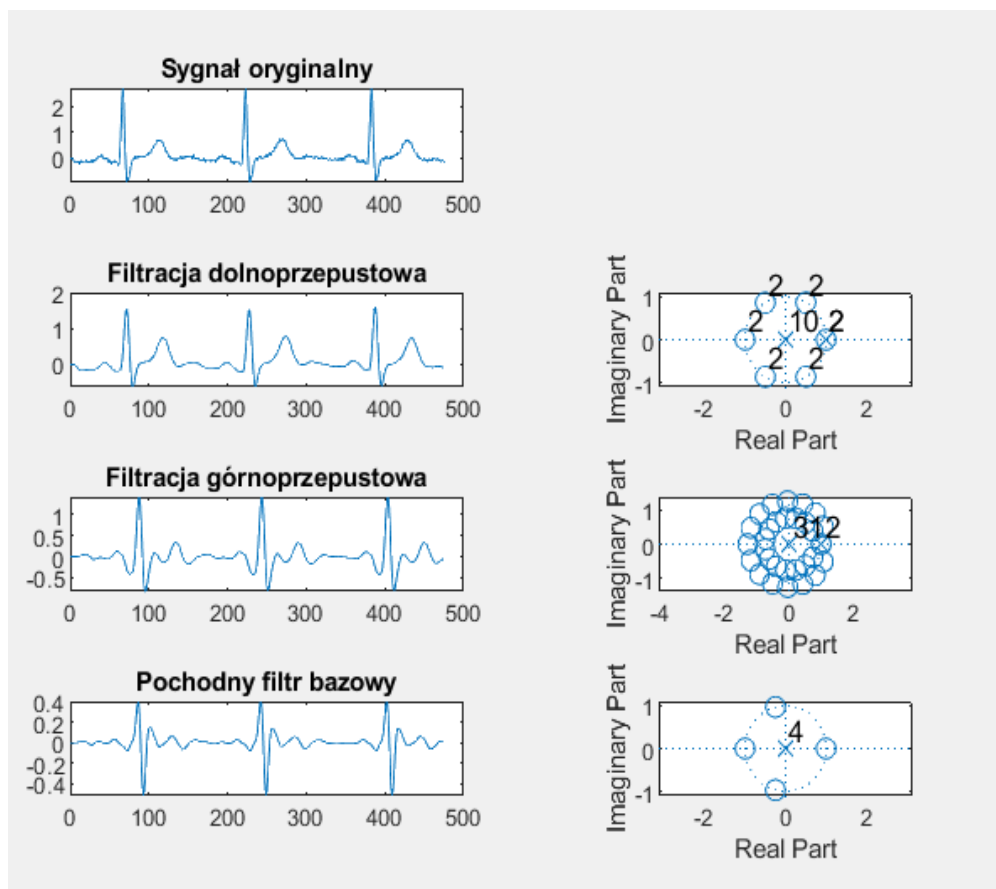
### 4.2. Filtrowanie

Powodem wykonywania filtracji sygnału w pierwszej kolejności jest uniknięcie niepożądanych efektów powodowanych przez szum. Odfiltrowanie

niepożądanego szumu jest szczególnie istotne dla późniejszych etapów przetwarzania. Stosuje się:

- filtry pasmowe (szczelinowe) – usuwanie zakłóceń sieci elektroenergetycznej 50 Hz,
- filtry górnoprzepustowe – usuwanie dryftu linii izoelektrycznej 0,2–0,5 Hz,
- filtry dolnoprzepustowe – usuwanie artefaktów drzeń mięśniowych, zakłócenia występujące w aparaturze elektromedycznej 25/35 Hz.

Podczas filtracji sygnału wyjściowego dążymy do tego, aby był on jak najbardziej zbliżony do sygnału wzorcowego, a tym samym do zminimalizowania niepewności, otrzymania optymalnego przebiegu sygnałów oraz sprawdzenia przekształceń sygnałów niestacjonarnych. Rezultatem jest wytworzenie sygnału wyjściowego. Problem z usuwaniem szumów polega na tym, że nie znamy dokładnej częstotliwości szumu, więc najprostsze rozwiązania bazujące na filtrach górnoprzepustowych lub dolnoprzepustowych nie zawsze spełniają oczekiwania. Zakłócenia, których źródłem są ruchy pacjenta, a także artefakty związane z zakłóceniami biologicznymi są często eliminowane za pomocą filtrów górnoprzepustowych. Jednakże użycie filtrów górnoprzepustowych o częstotliwości odcięcia 0,5 Hz może prowadzić do utraty cennych informacji poprzez zniekształcenie morfologii sygnału EKG, w szczególności wpływając na odcinek ST i fałę T. Z tego powodu stosuje się też filtrację górnoprzepustową 0,05 Hz zalecaną przez American Heart Association (AHA), przy której minimalizuje się zniekształcenie sygnału EKG. AHA wprowadziło zalecenia związane z odpowiedzią amplitudową ( $\pm 6\%$  dla 0,5 dB) między 1–30 Hz z tłumieniem -3 dB dla częstotliwości mniejszych od 0,67 Hz i większych niż 150 Hz [9].

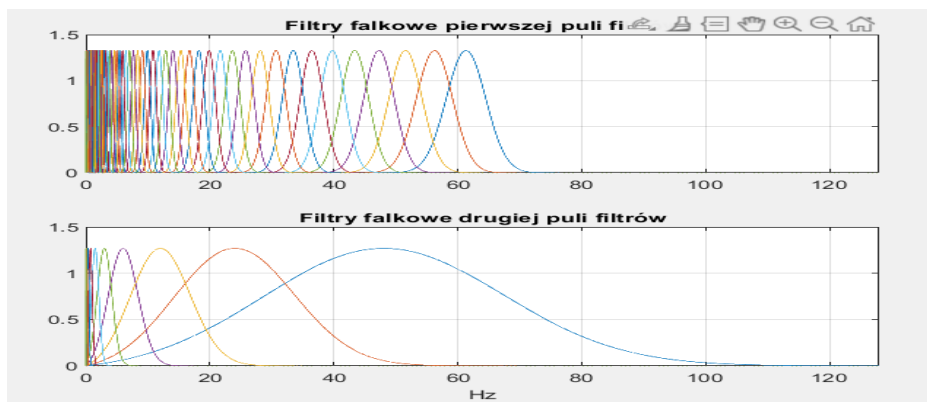


Rys. 8. Wynik filtracji sygnału elektrokardiograficznego: (1) sygnał oryginalny, (2) po filtracji filtrem dolnoprzepustowym oraz (3) po filtracji filtrem górnoprzepustowym, (4) filtracja pochodnym filtrem bazowym

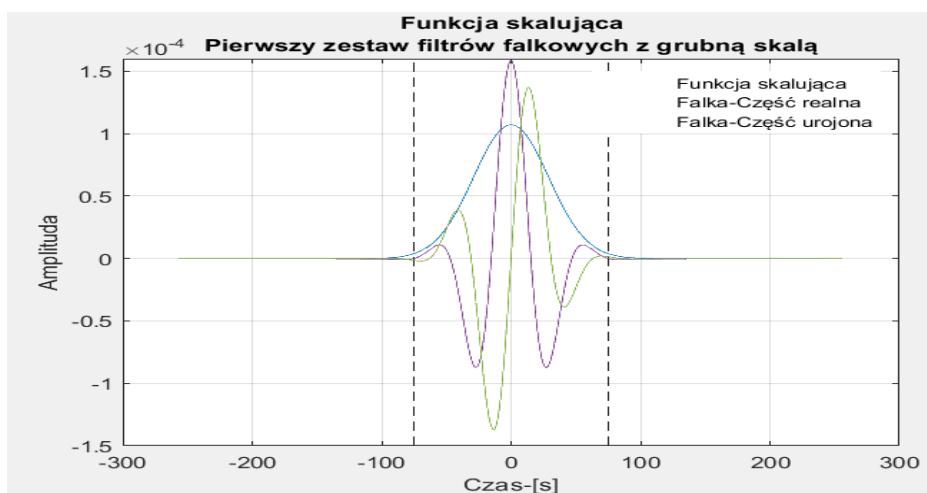
### 4.3. Transformata falkowa

Jednym z istotnych kroków w analizie EKG jest dokładne wykrycie załamków tworzących cały cykl serca. Większość badań opartych na transformacie falkowej [7] identyfikuje 99,8% przebiegów EKG. Transformatę falkową sygnału uzyskuje się przez porównanie sygnału wejściowego z rozszerzonymi i przesuniętymi wersjami nierozciągniętej falki, tzw. falka matki. Najbardziej jest przydatna w rozpoznawaniu załamków P i T. Jej zaletą jest możliwość wykrywania nieprawidłowości załamka T bez potrzeby identyfikacji jego punktu końcowego. Możemy zauważyć, że piki zespolów QRS spłaszczają się, a fale P i T, zawierające niższe częstotliwości, stają się bardziej widoczne. Kolejną zaletą transformaty falkowej jest jej zdolność do

podkreślenia szczegółów sygnału EKG przy optymalnej rozdzielczości częstotliwości czasowej.



Rys. 9. Wykresy przedstawiające filtry falkowe w programie Matlab



Rys. 10. Filtry falkowe w programie Matlab

#### 4.5. Detekcja

Kolejnym etapem przetwarzania sygnału EKG, jest detekcja zespołów QRS i segmentacja sygnału EKG. Pozwala na znalezienie miejsc, w których znajdują się zespoły skurczowe serca. Jest to etap podstawowy do interpretacji elektrokardiogramu, niezwykle kluczowy w rozpoznawaniu zaburzeń serca na podstawie zespołów QRS, dlatego zazwyczaj wykonywany w pierwszej kolejności po filtrowaniu [8].

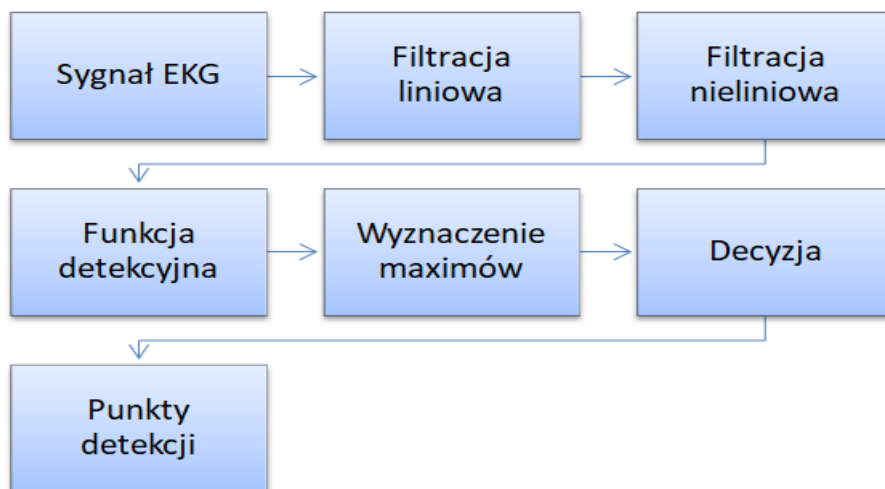


W celu sprawdzenia algorytmu detekcji, konieczne jest skorzystanie z odpowiedniej bazy danych. Najpowszechniejsza to baza amerykańska: MIT-BIH. Najpopularniejszymi i najskuteczniejszymi metodami detekcji zespołów QRS są [8]:

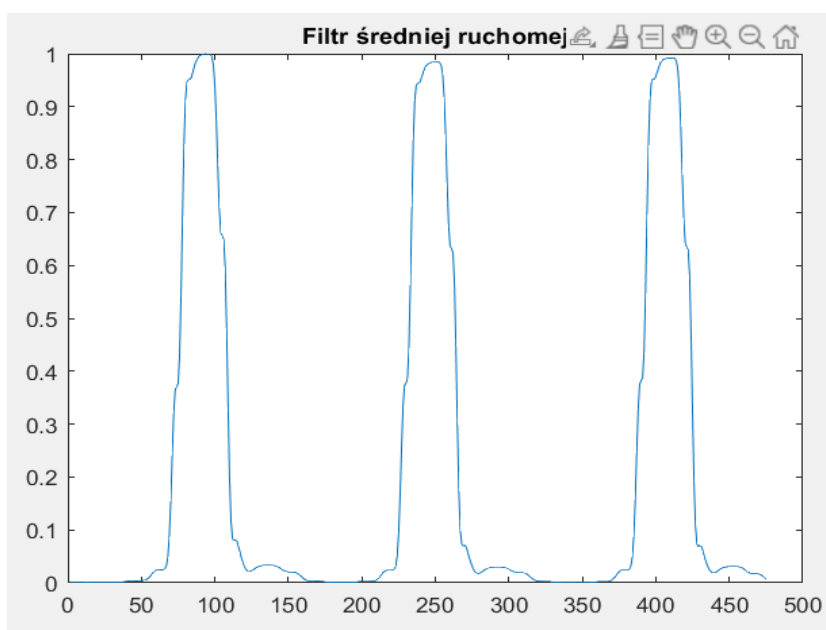
- adaptacyjna detekcja progu,
- sieci neuronowe,
- algorytmy genetyczne,
- transformacja falkowa,
- metoda kątowna.

#### 4.6. Algorytm detekcji

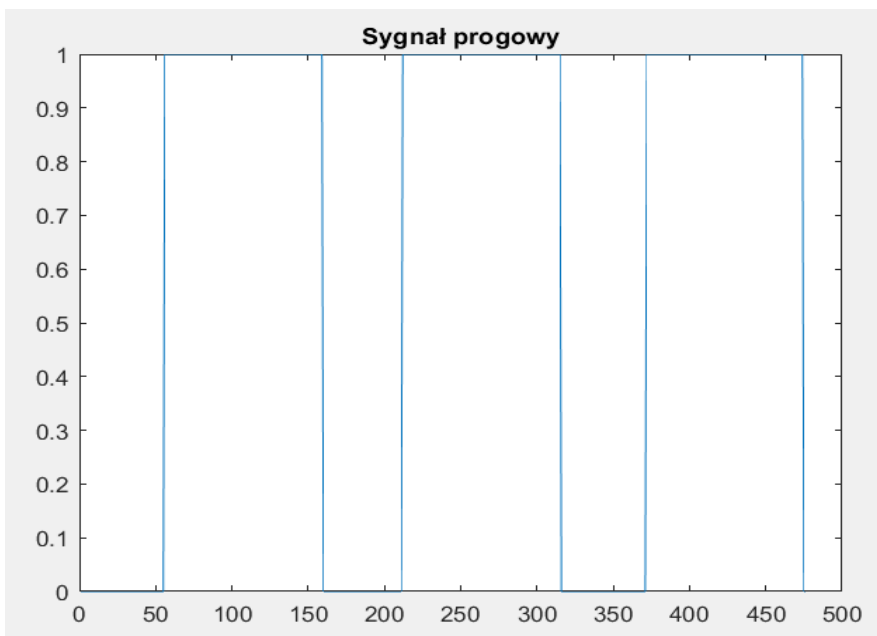
Klasyczna metoda składa się z filtracji pasmowoprzepustowej, filtru różniczkującego, operacji nieliniowej i filtru dolnoprzepustowego. Pierwszym krokiem jest wykonanie przekształceń matematycznych sygnału faworyzujących cechy QRS, a zarazem wykluczających cechy innych elementów. Wynikiem tych przekształceń jest funkcja detekcyjna, która ma taką samą ilość próbek jak sygnał EKG. Funkcja ta charakteryzuje się stromością narastania i opadania jej zboczy w granicach zespołu QRS. Końcowym etapem jest całkowanie w ruchomym oknie czasowym. Drugim krokiem jest dobranie odpowiedniego progu funkcji detekcyjnej, pozwalającego znaleźć punkty, które zostaną przekazane do obrębu zespołu QRS. Ustawianie progu zachodzi zazwyczaj na bieżąco w zależności od funkcji detekcyjnej w punktach wykrywania ekstremów lokalnych tej funkcji. W maximum funkcji zachodzi selekcja, polegająca na wyodrębnieniu czy zostaje przekroczony próg detekcji-jeśli tak to punkt ten należy do punktu detekcji, jeśli zaś nie to wartość tego punktu uznawana jest za maximum szumu. Wartości punktów są ze sobą porównywalne. W celu odrzucenia załamków nie należących w obrębie zespołu QRS, czyli załamki P i T. Wynika z tego, że metoda jest szczególnie wrażliwa na wykrywanie załamków P oraz T o dużej amplitudzie, które mogą powodować zakłócenie całej detekcji. Metoda ta ma zarówno wady i zalety, dlatego też powstało nowe rozwiązanie, które opiera się na zastosowaniu równoległego przetwarzania sygnału w trzech pasmach [6], [8], [9].



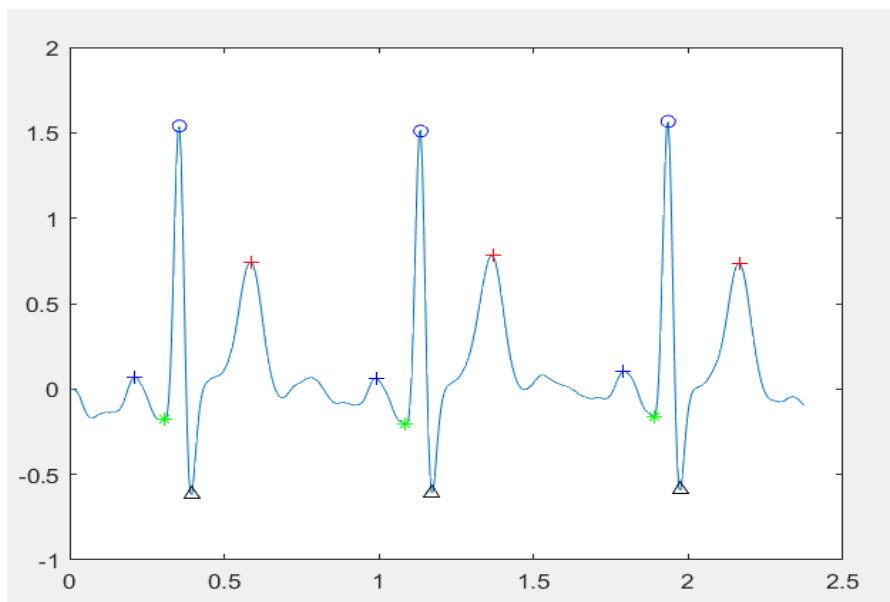
Rys. 11. Algorytm detekcji [7]



Rys. 12. Filtracja za pomocą filtru o średniej ruchomej w celu detekcji pracy serca w programie Matlab [19]



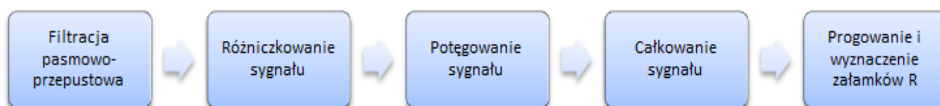
Rys. 13. Wynik dobrania odpowiedniego progu funkcji detekcyjnej w programie Matlab [19]



Rys. 14. Końcowy wynik detekcji – wykryte punkty odniesienia QRS i punkty R [19]

#### 4.7. Algorytm Pan-Tompkins

Jest powszechnie stosowany do wykrywania kompleksu QRS w EKG. Algorytm [12] składa się z pięciu następujących po sobie etapów, które mają na celu usunięcie zakłóceń sygnału powstających pod wpływem drżenia mięśni, wpływu zakłóceń sieci elektroenergetycznej wpływu załamka T oraz pływającej izoliny elektrycznej. Słumienie niskoczęstotliwościowych komponentów (P i T) oraz wzmocnienie wysokoczęstotliwościowych cech sygnału reprezentujących nachylenie zespołów QRS. Uzyskanie pojedynczej „fali” w obrębie zespołu QRS, oraz ustalenie wartości progowej i wyznaczenie numerów próbek odpowiadających załamkom R.

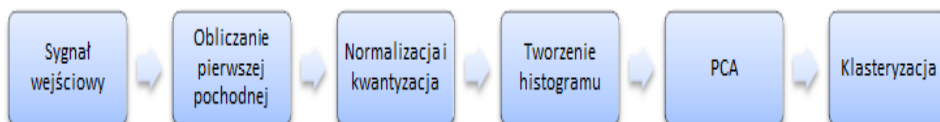


Rys. 15. Algorytm Pan-Tompkins [12]

#### 4.8. Ekstrakcja i selekcja cech

Cechami nazywamy informacje pochodzące z sygnału EKG, które mogą być wykorzystywane do dyskryminacji zaburzeń serca. Cechy możemy wydobyć m.in. bezpośrednio z przebiegu w dziedzinie czasu, drugą zaś metodą jest przekształcenie sygnału EKG do dziedziny częstotliwości, trzecim sposobem jest wydobywanie cech z odstępów RR.

Etap ekstrakcji/selekcji cech jest istotny w komputerowym diagnozowaniu dysfunkcji mięśnia sercowego. Ekstrakcją cech nazywamy przekształcenie obiektu w celu otrzymania cech charakterystycznych, które reprezentują istotne informacje. Następnie występuje redukcja danych w celu odrzucenia nadmiaru czy błędów informacji. Następuje zmiana transformująca cechy z początkowego sygnału do nowej przestrzeni „niskowymiarowej”. Selekcją cech nazywamy szukanie pewnego zestawu charakterystyk, które najbardziej nadają się do spekulowanego zadania. Wybierane najbardziej reprezentatywne cechy są bez transformacji. Zarówno ekstrakcja jak i selekcja odpowiadają za zmniejszenie liczby danych, przez co możemy zwiększyć skuteczność klasyfikacji i skrócić jej nakład obliczeniowy [8].



Rys. 16. Algorytm ekstrakcji i selekcji cech

## 5. Metody analizy sygnału fonokardiograficznego

Osluchiwanie składa się z dwóch faz: akwizycji dźwięku serca i analizy dźwięku serca. Analiza dźwięków serca może pomóc w klasyfikacji pacjenta na zdrowego i chorego. U zdrowych można wyróżnić dwa elementy przebiegu czasowego sygnału dźwiękowego: pierwszego tonu serca (S1) i tonu dźwięku serca (S2)[15]. Analizę dźwięku serca można podzielić na trzy ogólne etapy: segmentacja, ekstrakcja cech i klasyfikacja. Segmentacja polega na określeniu granic cykli sercowych na podstawie ciągłych sygnałów dźwiękowych serca. Ekstrakcja cech polega na obliczeniu parametrów identyfikujących z każdego cyklu serca. Klasyfikacja polega na podjęciu decyzji o rodzaju dźwięku serca na podstawie tych parametrów.

### 5.1. Segmentacja

Skuteczna segmentacja jest w stanie dostarczyć cennych informacji diagnostycznych dla pacjentów. Ponadto ma to kluczowe znaczenie dla niektórych metod klasyfikacji opartych na ekstrakcji cech.

Metoda segmentacji dźwięku serca łączy analizę w dziedzinie czasu, analizę w dziedzinie częstotliwości i analizę czasowo-częstotliwościową. Korzystając z tej metody, najpierw lokalizowane są granice komponentów dźwięku serca, a następnie komponenty są rozpoznawane. W kolejnym kroku dźwięki serca są dzielone na kilka segmentów na podstawie wyników lokalizacji granic i identyfikacji komponentów.

Główne cechy dźwięków serca to ich amplituda, częstotliwość, czas trwania i położenie wzajemne. Dźwięki serca składają się z dwóch regularnie powtarzających się uderzeń, S1 i S2 tworzących cykl sercowy [15]. Większość metod segmentacji działa dzięki założeniu, że przerwa pomiędzy S1, a S2 w której następuje skurcz (diastola), jest krótsza niż przerwa między S2 i S1 (systola), w której dochodzi do rozkurczu.

### 5.2. Ekstrakcja

Metody ekstrakcji można z grubsza podzielić na dwa rodzaje [15]. Pierwszy z nich wykorzystuje wiedzę medyczną na temat określonych chorób i ich wpływu na generowanie dźwięków serca. Drugi oparty jest na reprezentacji elementów sygnału w dziedzinie czasu i częstotliwości. Ten rodzaj reprezentacji jest szczególnie odpowiedni dla dźwięków serca, ponieważ są to sygnały niestacjonarne, których zawartość zmienia się z czasem. Szczególną reprezentacją czasowo-częstotliwościową powszechnie stosowaną w analizie dźwięku serca jest dyskretna transformata falkowa.

Funkcje oparte na DWT oferują dwie zalety w porównaniu do wielu innych metod. Są dobrze zbadane i sprawdzone oraz istnieje wiele oprogramowań pomocnych w ich obliczaniu. Co więcej, na współczynnik DWT nie ma wpływu rodzaj zastosowanej metody wykrywania obwiedni, ponieważ są one obliczane bezpośrednio na podstawie sygnałów dźwiękowych serca.

### 5.3. Klasyfikacja

Do klasyfikowania sygnału przydatne są często używane modele, mianowicie:

- Support Vector Machine [17] (SVM) – maszyna wektorów nośnych, działa jak klasyfikator, mający na celu wyznaczenie hiperpłaszczyzny rozdzielającej z maksymalnym marginesem przykłady należące do dwóch klas. Ta metoda jest przydatna gdy dane muszą być rozdzielone liniowo.
- Deep Neural Network [14] (DNN) to algorytm sztucznej inteligencji do uczenia maszynowego DNN to sieć neuronów, zgrupowanych w wielu warstwach połączonych ze sobą, gdzie neurony akceptują aktywację od neuronów z poprzedniej warstwy, przetwarzają przekazane dane, następnie przekazuje je do kolejnej warstwy.
- DNN nie radzi sobie dobrze w porównaniu z SVM, z powodu ograniczonej ilości dostępnych danych, DNN wymaga tysięcy plików i funkcji do szkolenia i klasyfikacji, więc w przypadku, gdy dostępna jest wystarczająca ilość danych, DNN może osiągać wyniki lepsze niż SVM [14]. Najwyższą dokładność, uzyska się dzięki połączeniu tych funkcji.

## 6. Podsumowanie

Interesującym zagadnieniem jest analiza i identyfikacja zapisów elektrokardiograficznych. W tym zakresie szczególnie nacisk położony jest na lokalizację oraz identyfikację charakterystycznych dla EKG zespołów QRS. Lokalizacja zespołów QRS jest podstawowym etapem, który rozpoczyna analizę. Autentyczność otrzymanych wyników wywiera wpływ na wartość parametrów wyznaczanych w kolejnych etapach. Zarówno w lokalizacji jak i rozpoznawaniu pochodzenia morfologicznego zespołów QRS przydatną metodą jest transformacja falkowa, która daje miarodajne wyniki [20]. Detekcja zespołów QRS jest zasadnicza w przetwarzaniu sygnałów EKG, ponieważ jest podstawą do dalszej analizy. Trudności w precyzyjnym wykrywaniu miejsca zespołów QRS w sygnale wynikają głównie z ich fizjologicznej zmienności, jak również obecności różnorodnych zakłóceń. Zaletą przedstawionego algorytmu

detekcji jest prostota i zdolność do wykrycia załamek P i T. Kolejnym dobrym rozwiązaniem jest algorytm Pana Tompkinsa, charakteryzujący się dużą czułością w przypadku zakłóconego sygnału.

Przyczyną stosowania autodiagnostyki sygnału fonokardiograficznego jest fakt tego, że doświadczeni lekarze często mają problem z rozpoznaniem zmysłowym patologicznych dźwięków serca. Powodem tego jest przewaga niskich częstotliwości, znajdujących się poniżej progu słyszalności. Poprzez połączenie ze sobą algorytmu SVM i DNN uzyskujemy dużą skuteczność rozróżnienia stanu zdrowego, a patologicznego.

Dzięki analizie sygnału elektrokardiograficznego oraz fonokardiograficznego możemy prawidłowo odczytać sygnał pochodzący z serca. Za pomocą przedstawionych algorytmów umożliwiona jest wizualizacja, manipulacja odpowiednimi fragmentami np. możemy poprawić pomyłki. Oczywiście opisane algorytmy to tylko propozycje, natomiast istnieje wiele innych metod nadających się do analizy sygnału, które nie zostały tutaj omówione.

## Literatura

- [1] <http://medyczni.org/fizjologia/ekg-serca/>, (dostęp 27.02.2020).
- [2] [https://diagnosis.pl/wpcontent/uploads/2016/12/instrukcja\\_ISTEL\\_2016.11.17v2.pdf](https://diagnosis.pl/wpcontent/uploads/2016/12/instrukcja_ISTEL_2016.11.17v2.pdf), (26.02.2020).
- [3] [http://wikidyd.iem.pw.edu.pl/attachments/LAPPD\(2f\)Cw13/c13\\_pbmed\\_instr.pdf](http://wikidyd.iem.pw.edu.pl/attachments/LAPPD(2f)Cw13/c13_pbmed_instr.pdf), (dostęp 27.02.2020).
- [4] <http://www.uwm.edu.pl/kfib/dydaktyka/instrukcje%20medycyna/19-07-2011%20ekg.pdf>, (dostęp 26.02.2020).
- [5] Sylwanowicz W., Michajlik A., Ramotowski Witold, *Anatomia i fizjologia człowieka*, Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa, 1989.
- [6] Leyko T., Ranachowski Z., *Analiza emisji akustycznej serca – zastosowanie w diagnostyce kardiologicznej*, Borgis - Medycyna Rodzinna 1/2007, s. 10–12.
- [7] C. Saritha, V. Sukanya, Y. Narasimha Murthy, *ECG Signal Analysis Using Wavelet Transforms*, Bulgarian Journal of Physics vol. 35, 2005, s. 68–77.
- [8] Paweł Pławiak, *Automatyczne diagnozowanie dysfunkcji mięśnia sercowego na podstawie analizy sygnału elektrokardiograficznego (EKG) przy wykorzystaniu systemu ewolucyjno-neuronowego*, Kraków 2016.
- [9] High-Bandpass Filters in Electrocardiography: Source of Error in the Interpretation of the ST Segment <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3388307>, (dostęp 26.02.2020).
- [10] Raport końcowy projektu *Detekcja i synchronizacja reprezentacji uderzeń serca (zespołu QRS)* [http://www.edi.agh.edu.pl/start/przyklady\\_rozw/detekcja/QRS\\_DET\\_2011c.pdf](http://www.edi.agh.edu.pl/start/przyklady_rozw/detekcja/QRS_DET_2011c.pdf), (dostęp 26.02.2020).

- [11] Przetwarzanie sygnałów w systemach diagnostyki medycznej. Klasyfikacja uderzeń serca, [http://www.edi.agh.edu.pl/start/przyklady\\_rozw/klasyfikacja/QRS\\_CLASS\\_2011a.pdf](http://www.edi.agh.edu.pl/start/przyklady_rozw/klasyfikacja/QRS_CLASS_2011a.pdf), (dostęp 26.02.2020).
- [12] Detekcja zespołów QRS w sygnale elektrokardiograficznym, [http://home.agh.edu.pl/~pieciak/wp-content/uploads/laboratorium\\_ekg.pdf](http://home.agh.edu.pl/~pieciak/wp-content/uploads/laboratorium_ekg.pdf), (dostęp 27.02.2020).
- [13] Qingshu Liu, Xiaomei Wu, Xiaojing Ma. *An automatic segmentation method for heart sounds*, BioMedical Engineering OnLine, 17:106, 2018.
- [14] Yaseen, G. Son, S. Kwon, *Classification of Heart Sound Signal Using Multiple Features Department of Digital Contents*, Applied Sciences vol. 8(12):2344, 2018.
- [15] S. Yuenyong, A. Nishihara, W. Kongprawechnon, K. Tungpimolrut, *A framework for automatic heart sound analysis without segmentation*, BioMedical Engineering OnLine vol. 10(13):13, 2011.
- [16] [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9a/Wiggers\\_Diagram.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9a/Wiggers_Diagram.png) (dostęp 27.02.2020).
- [17] Jankowski N., *Ontogeniczne sieci neuronowe*, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Warszawa 2003.
- [18] <https://uk.mathworks.com/help/wavelet/examples/ecg-signal-classification-using-wavelet-time-scattering.html#d120e5636> (dostęp 27.02.2020).
- [19] <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/66098-ecg-p-qrs-t-wave-detecting-matlab-code> (dostęp 26.02.2020).
- [20] <http://sip.iem.pw.edu.pl/index.php/nauka/zespolekg/>, (dostęp 25.02.2020).



**Magdalena MATEUSIAK<sup>1</sup>, Monika STOMA<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Studenckie Koło Naukowe Zarządzania i Ekonomii, kierunek Zarządzanie i Inżynieria Produkcji

<sup>2</sup> Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ORCID:0000-0003-0404-699X

## **MOŻLIWOŚCI ORAZ ZAGROŻENIA IMPLEMENTACJI ZAŁOŻEŃ KONCEPCJI „GOSPODARKI 4.0” W UJĘCIU TEORETYCZNYM I PRAKTYCZNYM**

### **1. Wprowadzenie**

Projekt Gospodarka 4.0, którego założenia są obecnie implementowane na świecie, to współczesna rewolucja przemysłowa polegająca na wzajemnym powiązaniu oraz wykorzystywaniu automatyzacji przetwarzania i wymiany danych oraz technik wytwórczych, zarówno w przemyśle, jak i w usługach. Koncepcja ta może być również rozpatrywana nieco szerzej, jako „Industry 4.0”, które jest zbiorczym pojęciem ukazującym integrację inteligentnych maszyn, systemów oraz wprowadzania zmian w procesach produkcyjnych, mających na celu przede wszystkim zwiększenie wydajności wytwarzania. Dodać należy, iż czwarta rewolucja przemysłowa dotyczy nie tylko technologii, ale też nowych sposobów pracy i roli ludzi w przemyśle – wprowadza więc zmiany w różnych obszarach życia społeczno-gospodarczego [7].

Pojęcie „Gospodarka 4.0” oznacza unifikację świata rzeczywistego maszyn produkcyjnych ze światem wirtualnym Internetu i technologii informacyjnej. Ludzie, maszyny oraz system IT automatycznie wymieniają informacje w toku produkcji; następuje tu więc ścisła integracja człowieka z procesem produkcyjnym w celu ciągłego doskonalenia, koncentrowania się na działaniach o wartości dodanej, a także unikania marnotrawstwa [17]. Dodać należy, iż środowisko Industry 4.0 jest podporą, lepszym miejscem pracy, zapewniając dostęp do praktycznie każdej przydatnej informacji, w dowolnym czasie, z dowolnego miejsca, co w konsekwencji umożliwia ekonomiczną produkcję zindywidualizowanych wyrobów [1]. Gospodarkę 4.0 charakteryzują więc przede wszystkim: cyfryzacja, automatyzacja, robotyzacja i algorytmizacja.

### **2. Geneza oraz podstawowe założenia czwartej rewolucji przemysłowej**

Światowa gospodarka rozwijała się stopniowo – każdy kolejny krok w przemyśle implikował głębokie zmiany w metodach, technikach i sposobach

produkcji. Pierwsza rewolucja przemysłowa miała miejsce pod koniec XVIII w. w Wielkiej Brytanii i polegała na mechanizacji produkcji, szczególnie przemysłu tekstylnego. Zadania wcześniej wykonywane ręcznie przez setki tkaczy we własnych gospodarstwach przeniesiono do jednego zakładu tekstylnego, tworząc w ten sposób prototyp fabryki. Wynaleziono wówczas i wdrożono innowacyjne na tamte czasy maszyny – głównie w oparciu o silnik parowy, co wprowadziło produkcję w erę industrializacji [3].

Druga rewolucja przemysłowa miała miejsce na przełomie XIX i XX w., a spektakularnym dowodem sukcesu jej metod było uruchomienie linii produkcyjnej przez Henry'ego Forda i rozpoczęcie stulecia masowej produkcji samochodów. Rewolucja ta była więc związana z wprowadzeniem produkcji masowej opartej na energii elektrycznej - elektryczność wyparła silniki parowe, zaś linie produkcyjne mogły wytwarzać towary w dużych seriach. Dodać należy, iż pierwsze dwie rewolucje przemysłowe doprowadziły do wzrostu zamożności pracowników oraz do urbanizacji.

Trzecia rewolucja przemysłowa rozpoczęła się w latach 70. XX w. i polegała na zwiększeniu automatyzacji procesów produkcji z wykorzystaniem komputerów (elektronika oraz technologie internetowe). Cyfryzacja, coraz bardziej wydajne komputery i układy przetwarzania danych umożliwiły sterowanie maszynami za pomocą oprogramowania. Dzięki temu maszyny zyskały większą wydajność, precyzję i elastyczność, a proces cyfryzacji umożliwił osiągnięcie coraz wyższych stopni automatyzacji. Zaczęły powstawać systemy planowania i kontroli, których celem była koordynacja działań w obrębie produkcji [14].

Czwartą rewolucję przemysłową obserwujemy od kilku lat i polega ona na integracji systemów oraz maszyn sterowanych cyfrowo z Internetem, technologiami informacyjnymi, a także na tworzeniu sieci. Cyfryzacja powoduje głębokie oraz daleko idące zmiany we wszystkich obszarach naszego życia. Umożliwia ona bowiem m.in. powstanie gospodarki wytwarzającej na żądanie, a także dostarczającej produkty oraz usługi zgodnie ze specyficznymi wymaganiami klienta dokładnie wtedy, kiedy są potrzebne [11].

Kluczowy element Gospodarki 4.0 stanowią systemy cyberfizyczne (*Cyber Physical System*, CPS), czyli systemy integrujące obliczenia z procesami fizycznymi. Przykładowo, w odniesieniu do produkcji oznacza to, że informacje dotyczące zarówno realnej hali produkcyjnej, jak i wirtualnej przestrzeni obliczeniowej są wysoce zsynchronizowane, co pozwala na uzyskanie lepszej kontroli i wzrost wydajności w procesie produkcji [2], [13].

Kolejnym istotnym elementem Gospodarki 4.0 jest Internet Rzeczy (*Internet of Things*, IoT), co oznacza, że przedmioty, urządzenia wyposażone w specjalne czujniki i sensory komunikują się ze sobą oraz wymieniają dane z komputerami i innymi urządzeniami, za pomocą różnorodnych rozwiązań sieciowych, szybciej i sprawniej niż przy pomocy człowieka [15]. Jako

przykłady można tu podać zautomatyzowane fabryki, wykorzystujące sztuczną inteligencję do przewidywania potrzeb klientów, czy pojazdy autonomiczne.

Sztuczną inteligencję zasilają również takie komponenty jak big data i analityka, dzięki którym możliwe jest badanie zachowań i zwyczajów konsumpcyjnych, komunikacyjnych, żywieniowych czy zdrowotnych, ale także identyfikowanie potrzeb, podpowiadanie optymalnych rozwiązań, oddzielanie tego, co ważne, od tego, co mniej ważne, czy w końcu sterowanie liniami produkcyjnymi oraz wspieranie efektywnego transferu wiedzy do realizacji celów biznesowych [11]. Jest to szczególnie istotne, ponieważ w dzisiejszych czasach, dzięki szybkiemu rozwojowi Internetu, codziennie powstaje i gromadzi się tak ogromna ilość informacji, że ich przetwarzanie i analiza wykracza poza możliwości tradycyjnych narzędzi [18].

### **3. Zalety implementacji gospodarki 4.0**

Producenci, którzy opierają swoją firmę na Przemysle 4.0, doprowadzają do obniżenia kosztów produkcji i łatwo mogą się wpasować w oczekiwania klientów. Dzięki temu zyskują przewagę nad konkurencją. Do innych korzyści generowanych w związku z implementacją rozwiązań z zakresu koncepcji Gospodarki 4.0 można zaliczyć również [7]:

- zdobycie większego udziału w rynku,
- wzmocnienie potencjału i pozycji konkurencyjnej,
- zwiększenie produktywności i efektywności pracy, a także efektywności zasobów produkcyjnych, stawiających na otwarte standardy oraz posiadających wysoki stopień modularności,
- ułatwione zarządzanie produkcją, poprzez integrację systemów produkcyjnych,
- produkcję małoseryjną z zaletami produkcji masowej,
- udoskonalenie procesów i zapasów,
- wzrost produkcji, która opiera się na inteligentnej analizie danych,
- niskie koszty produkcji,
- bazowanie na innowacyjności, poprzez połączenie produkcji z IT.

### **4. Wyzwania, szanse oraz zagrożenia związane z Gospodarką 4.0 z perspektywy różnych uczestników współczesnego rynku**

Wydaje się, iż w odniesieniu do szans związanych z implementacją rozwiązań z zakresu koncepcji Gospodarki 4.0, najważniejszą kwestią jest otwartość na nowoczesne technologie i tempo komercjalizacji. Wyniki badań

naukowych dowodzą bowiem temu, iż zmiany w organizacji produkcji są bardzo dynamiczne [10]. Postęp techniczny likwiduje tradycyjne strategie walki konkurencyjnych, a stawia na powstawanie nowych. Nie ważne jest w jakiej branży działa firma, wszędzie bowiem zauważyć można istotny wpływ wszechobecnej cyfryzacji. Jest ona atrybutem w zmianach produkcji, usługach, edukacji, nauce i administracji. Łączy ze sobą zarówno życie prywatne, zawodowe, jak i społeczne jednostki, a nawet całe społeczeństwo. Dodać należy, iż niejednokrotnie fundamentem staje się komunikacja elektroniczna, dzięki której można osiągnąć wyniki rozwoju firmy, a także ułatwić pracę dla siebie – jako pracodawców, jak i dla pracowników.

4.0 to nie tylko symbol, jest to złożony proces, w którym niezbędna staje się analiza i kumulowanie danych przez urzędnika, umożliwiających szybszą i bardziej elastyczną pracę, co w konsekwencji doprowadzi do wzrostu jakości produktów, bądź usług. Zyskiem takiego działania będzie również większa wydajność przemysłu oraz podwyższenie standardu gospodarki. Niestety poprzez modyfikacje rynku pacy, dostrzec można zagrożenie – będzie to zmiana w zakresie konkurencyjności firm i regionów. Z kolei główne szanse, jakie można otrzymać dzięki Przemysłowi 4.0 to: innowacyjność, wpasowanie się w potrzeby najbardziej wymagających klientów, nowe miejsca pracy, powstawanie nowych firm [4].

Szanse oraz zagrożenia związane z koncepcją Gospodarki 4.0 dla różnych uczestników rynku, a mianowicie: konsumenta, firm, a także dla całej gospodarki, zestawiono w tabeli 1.

#### **4.1. Konsument a rewolucja przemysłowa**

We współczesnych czasach konsumenci są mniej spontaniczni, jednocześnie rynek oferuje im szereg produktów i usług, które trafiają nawet do najbardziej wymagających klientów. Kupujący kieruje się masą czynników, mających znaczący wpływ na ostateczną decyzję wyboru produktu, bądź usługi. Jednakże większość informacji jest pozyskiwana poprzez Internet; tam klienci poszukują opinii innych osób, porównują ceny. Dzięki stronom internetowym, które zakładają potencjalne firmy, możliwe staje się bowiem personalizowanie potrzeb oraz zachowań klientów. Ich aktywność pokazuje kim jest klient i czego potrzebuje - poprzez to firma stara się do niego dopasować lepszą ofertę. Pozwalają na to narzędzia, które często dane zabierają automatycznie wykorzystując m.in. adres IP, lokalizację, pliki cookies; w konsekwencji firmy mogą uzyskaną wiedzę wykorzystać do odpowiedniego przygotowania swojej oferty pod upodobania klienta. Dlatego dane o klientach stosunkowo łatwiej pozyskiwać podmiotom oferującym dobra i usługi w Internecie, gdy podmioty te różnymi sposobami zachęcają do zakładania kont na swoich stronach [12].

Tabela 1. Szanse i zagrożenia związane z gospodarką 4.0 [5, 16]

Dla konsumenta	Dla firmy	Dla gospodarki
<b>SZANSE</b>		
Zindywidualizowane zaspokajanie potrzeb konsumpcyjnych	Spadek kosztów produkcji	Atrakcyjność dla inwestorów
Nowe zawody, o wysokiej wartości dodanej, oraz rozwój nowych branż	Wzrost produktywności, powstawanie nowych, lepszych produktów o wysokiej wartości	Innowacyjna gospodarka z potencjałem nawiązywania rywalizacji międzynarodowej, dzięki otwarciu nowych frontów technologicznych
Możliwości kształcenia i zdobywania kolejnych umiejętności	Rozwój nowych branż, zmiana modeli biznesowych w tradycyjnych sektorach, szansa na wejście dla nowych graczy	Bardziej efektywne wykorzystanie energii i materiałów, zmniejszenie zanieczyszczeń na jednostkę produkcji
<b>ZAGROŻENIA</b>		
Redukcja miejsc pracy	Przewaga zagranicznych dostawców rozwiązań 4.0	
Konieczność dostosowania się do zmieniających się warunków.	Małe przedsiębiorstwa mogą bać się ryzyka związanego z inwestycją w nowe technologie	Ryzyko bezrobocia, spowodowanego złymi kwalifikacjami do potrzeb gospodarki 4.0
	Brak pracowników z odpowiednimi kompetencjami, za mało informatyków, specjalistów od automatyki, robotyki bądź mechatroniki	Koszty pracy przestają być źródłem przewagi konkurencyjnej, rośnie znaczenie kosztów logistyki. Ryzyko odpływu inwestycji w przemyśle przetwórczym do gospodarek rozwiniętych. Zmniejszenie konkurencyjności niektórych eksporterów.

#### 4.2. Zakłady produkcyjne w obliczu czwartej rewolucji przemysłowej

Jak już wspomniano, czwarta rewolucja dla zakładów produkcyjnych, to niewątpliwie szansa, ale i również wyzwanie. Podstawą wdrożenia rozwiązań z tego obszaru jest znajomość czterech technologii i zjawisk [9]:

1. Przemysłowy Internet Rzeczy (*Industrial Internet Of Things – IIoT*) – dzięki temu firma może działać globalnie, posiada użytkowy dostęp do danych oraz możliwość kontrolowania wykonywanych procesów;

2. Autonomiczne systemy wytwarzania – na podstawie tej technologii firma może zbudować „inteligentne” fabryki, które następnie ułatwiają proces produkcji i w których w każdej chwili można wprowadzać zmiany pod wymogi na przykład klienta;
3. Nowoczesne systemy wsparcia służb utrzymania ruchu – dzięki algorytmom prewencyjnym zakład produkcyjny może przewidzieć awarię, ponadto wykorzystanie urządzeń mobilnych zapewnia stały dostęp do kompletu dokumentacji;
4. Robotyzacja – zastosowanie dostosowujących się gniazd produkcyjnych, które opierają się na robotach przemysłowych, użycie ich do współpracy z człowiekiem.

### **4.3. Rola pracownika w kontekście czwartej rewolucji**

Pracownik to kluczowa część gospodarki 4.0. Uznaje się bowiem, że człowiek jest nadal najważniejszy, a rozwijający się przemysł ma na celu stworzenie lepszego miejsca pracy, oraz że pracownicy nie zostaną zastąpieni przez roboty. Przemysł 4.0 to obszar, w którym Internet Rzeczy odgrywa dużą rolę, dzięki współpracującym ze sobą inteligentnym maszynom, które komunikują się z użytkownikami.

Mówiąc o Przemysle 4.0, najczęściej przed oczami pojawia nam się obrazek maszyn i technologii. Jednak nie należy zapominać o tym, że tempo i sukces implementacji tej koncepcji w dużym stopniu zależy od ludzi. Nadchodząca czwarta rewolucja przemysłowa przenosi produkcję na wyższy poziom. Przemysł 4.0 to bardzo szybki rozwój technologiczny, zmienia sposób życia i pracy. Jak twierdzi bowiem Alvin Toffler [4]: „...analfabetami XXI wieku nie będą Ci, którzy nie znają Excela lub nie potrafią programować, ale Ci, którzy nie potrafią się uczyć nowych rzeczy i oduczać starych...”. Dlatego ważną kwestią jest przede wszystkim otwartość na zmiany, nie tylko w sposobach produkcji, ale również w sposobach myślenia.

### **5. Możliwości implementacji rozwiązań koncepcji gospodarki 4.0 w ujęciu praktycznym**

Przykładem wdrożenia rozwiązań z zakresu projektu Gospodarki 4.0 jest firma Bosch Rexroth, znajdująca się w Hamburgu, która zajmuje się montażem ponad 200 różnych wariantów zaworów hydraulicznych przy wykorzystaniu jednej uniwersalnej linii produkcyjnej bez konieczności modyfikowania maszyn. Ponadto poszczególne elementy, czy też etapy produkcji są identyfikowane za pomocą chipów RFID, dzięki czemu aż dziewięć stacji linii produkcyjnej ma możliwość rozpoznania, jaki kolejny krok jest niezbędny w procesie montażu.

Następnie system, który odpowiada za sterowanie maszynami, otrzymuje informacje z serwera. Poprzez wykorzystanie procesu zindywidualizowanej produkcji, do każdej z dziewięciu stacji dostarczana jest odpowiednia liczba potrzebnych elementów i części.

Najciekawszym komponentem linii produkcyjnej w odniesieniu do pracowników wydaje się to, że gdy loguje się on na swoim stanowisku roboczym za pomocą Bluetooth, może zobaczyć instrukcję dotyczącą danego wariantu produktu, w języku przez siebie preferowanym oraz w formie dostosowanej do jego kwalifikacji. Ma to również znaczny wpływ na wysoką jakość produktu finalnego. Łatwo można bowiem dostrzec, że pracownicy mają pod zasięgiem ręki kopalnię wiedzy, która pomaga w pracy, aby była ona łatwiejsza, wydajniejsza, przyjemniejsza. Poprzez to człowiek może współgrać z tym co oferuje mu firma bazująca na rozwoju technicznym i wykorzystująca w dużej skali systemy cyberfizyczne [8].

Kolejnym przykładem jest polska mała firma M-wood, zajmująca się produkcją wyrobów z drewna, bez użycia plastiku i innych tworzyw sztucznych, stawiająca na ekologię. Pojawiła się dopiero dwa lata temu. Firma postawiła na innowacyjną maszynę Ploter, która poprzez wprowadzenie do programu danych tworzy dany kształt, obraz z drewna. Przeprowadzono również doświadczenie, w którym pracownik miał z forniru wyrzeźbić małego borsuka - praca zajęła mu 2 godziny, podczas gdy maszyna zrobiła to w niecałe dwie minuty, dzięki zamontowanemu w niej laserowi. Cały proces nie jest zbyt skomplikowany, wystarczy odpowiednie zapoznanie się ze sprzętem. Ponadto ten sam pracownik stawia na innowacyjną maszynę, twierdzi że praca jest szybsza, przyjemniejsza, wydajniejsza oraz dokładniejsza.

Właściciel firmy również jest zadowolony z tego, że od samego początku postawił na technologię; twierdzi że dużo mu to pomogło na starcie, bez problemu mógł bowiem podjąć się zlecenia produkcji na większą masę, a klienci byli zadowoleni. Ponadto firma chce się rozwijać i w przyszłości myśli już nad produkcją 3D. Właściciel firmy podsumowując powyższe dodaje, iż możliwości rozwiązań z zakresu Przemysłu 4.0 otworzyły mu wiele szans na rozwój. Wie również jak bardzo gospodarka się rozwinęła w przeciągu kilkunastu lat i chce podążać w tym kierunku, ponieważ człowiek uczy się całe życie i ważne jest, aby się nie bać zmian.

## 6. Wnioski i podsumowanie

Gospodarka 4.0 ma duży wpływ na zmianę świata w którym żyją ludzie; zasięg wywołany czwartą rewolucją przemysłową jest masowy, dotyka nas wszystkich i przenika w znaczącą część codziennego życia, zarówno

prywatnego, jak i służbowego. W życiu prywatnym bowiem, większość osobistych plików, m.in. zdjęć, przechowywane są w Internecie; ponadto konsumenci niejednokrotnie korzystają z zakupów w sklepach internetowych, posiadają zegarek, który bezpośrednio przesyła do sieci dane o wynikach sportowych, analizuje je i dostarcza raport; również komputer pokładowy auta jest zdolny się uczyć. Z kolei w zakładzie przemysłowym możliwe jest obecnie m.in. sterowanie procesami produkcyjnymi z telefonu komórkowego; rozważane jest także korzystanie z rozszerzonej rzeczywistości, by lepiej zaprojektować układ maszyn na nowym stanowisku produkcyjnym.

To wszystko oznacza, że człowiek jest już częścią czwartej rewolucji przemysłowej. Pamiętać zawsze jednak należy, iż ludzie są niezmiennie najważniejsi, a dzięki „rewolucji przemysłowej” otrzymują jedynie większe wsparcie. W praktyce bowiem człowiek, maszyna i proces są ze sobą zintegrowane, w efekcie czego otrzymuje się bardziej elastyczną i ekonomiczną produkcję.

## Literatura

- [1] Bendkowski J., *Zmiany w pracy produkcyjnej w perspektywie koncepcji „Przemysł 4.0”*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Organizacja i Zarządzanie, z 112, nr 1990, 2017, s. 21–33.
- [2] Hermann, M., Pentek, T., Otto, B., *Design principles for Industrie 4.0 scenarios*, 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). IEEE, 2016, s. 3928–3937.
- [3] <http://historion.pl/rewolucja-przemysłowa-w-xviii-wieku-historia/> [dostęp w dniu 24.03.2020].
- [4] <https://automatykaonline.pl/Wywiady/Pracownik-4.0.-HR-w-obliczu-cyfryzacji-i-automatyzacji> [dostęp w dniu 01.04.2020].
- [5] <https://automatykaonline.pl/Z-branzy/Przemysl-4.0-szanse-i-zagrozenia> [dostęp w dniu 31.03.2020].
- [6] <https://mensis.pl/przemysl-4-0-definicja-znamiona-efekty/> [dostęp w dniu 31.03.2020].
- [7] <https://przemysl-40.pl/index.php/2017/03/22/czym-jest-przemysl-4-0/> [dostęp w dniu 25.03.2020].
- [8] <https://przemysl-40.pl/index.php/2017/06/14/bosch-rexroth-rozwiija-oferte-connected-hydraulics/> [dostęp w dniu 25.03.2020].
- [9] <https://www.astor.com.pl/biznes-i-produkcja/czy-przemysl-4-0-naprawde-cos-zmieni/> [dostęp w dniu 26.03.2020].
- [10] <https://www.money.pl/gospodarka/nadchodzi-gospodarka-40-jak-sie-do-niej-przygotowac-6345888105515137a.html> [dostęp w dniu 31.03.2020].
- [11] <https://www.pb.pl/w-gospodarce-4-0-jest-miejsce-dla-wszystkich-898687> [dostęp w dniu 31.03.2020].



- [12] <https://www.wiadomoscihandlowe.pl/artykuly/konsument-w-gospodarce-4-0-analiza,50818/1> [dostęp w dniu 01.04.2020].
- [13] Lee, J., Bagheri, B., Kao, H.A., *A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0-based Manufacturing Systems*, University of Cincinnati, University Cooperative Research Center on Intelligent Maintenance Systems, 2014.
- [14] Lukač, D., *The fourth ICT-based industrial revolution" Industry 4.0", HMI and the case of CAE/CAD innovation with EPLAN P8*, 23rd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR). IEEE, 2015, s. 835–838.
- [15] Mącik, R., *Internet rzeczy - postrzegane przez młodych konsumentów korzyści i zagrożenia - wyniki badań wstępnych*, *Przedsiębiorczość i Zarządzanie* 17(4), cz. 3, 2016, s. 11–27.
- [16] *Przemysł 4.0 PL. Szansa czy zagrożenie dla rozwoju innowacyjnej gospodarki*. The Boston Consulting Group Inc., Warszawa, 2016.
- [17] Vaidya, S., Ambad, P., Bhosle S., *Industry 4.0 – A Glimpse*, *Procedia Manufacturing* vol. 20, 2018, s. 233–238.
- [18] Witkowski J., *Internet of Things, Big Data, Industry 4.0 – Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management*. *Procedia Engineering*, vol. 182, 2017, s. 763–7.

## INFORMACJE O X SYMPOZJUM NAUKOWYM ELEKTRYKÓW I INFORMATYKÓW

### ORGANIZATORZY SYMPOZJUM

*Koło Naukowe Elektryków „NAPĘD i AUTOMATYKA”*  
*K.N. Elektroekologów „ELMECOL”*  
*K.N. Materiałoznawstwa Elektrycznego i Techniki Wysokich Napięć „MELJON”*  
*K.N. Informatyki „PENTAGON”*  
*K.N. Elektroników i Mechatroników „SEMICON”*  
*K.N. SEP przy Politechnice Lubelskiej*  
*Koło Zakładowe SEP przy Politechnice Lubelskiej*  
*Samorząd Studencki Politechniki Lubelskiej*

### KOMITET NAUKOWY SYMPOZJUM

*prof. dr hab. inż. Henryka Stryczewska – przewodnicząca*  
*prof. dr hab. inż. Piotr Kacejko, JM Rektor*  
*dr hab. inż. Dariusz Czerwiński, prof. uczelni*  
*dr hab. inż. Ryszard Goleman, prof. uczelni*  
*dr hab. inż. Wojciech Jarzyna, prof. uczelni*  
*prof. dr hab. inż. Piotr Kisala*  
*dr hab. inż. Grzegorz Komarzyniec, prof. uczelni*  
*dr hab. inż. Andrzej Kotyra, prof. uczelni*  
*dr hab. inż. Michał Majka, prof. uczelni*  
*dr hab. inż. Jerzy Montusiewicz, prof. uczelni*  
*dr hab. inż. Joanna Pawlat, prof. uczelni*  
*dr hab. inż. Jarosław Sikora, prof. uczelni*  
*dr hab. inż. Andrzej Smolarz, prof. uczelni*  
*dr hab. inż. Paweł Surdacki, prof. uczelni*  
*prof. dr hab. inż. Andrzej Wac-Włodarczyk*  
*prof. dr hab. inż. Waldemar Wójcik*  
*dr hab. Tomasz Zientarski, prof. uczelni*  
*dr hab. inż. Paweł Żukowski, prof. uczelni*  
*prof. inż. Volodymyr Drevetskiy, Rivne, Ukraine*  
*dr inż. Oleksandr Naumchuk, Rivne, Ukraine*  
*dr inż. Bogdan Sydorczuk, Rivne, Ukraine*

## **KOMITET ORGANIZACYJNY SYMPOZJUM**

*dr inż. Paweł Mazurek, prof. uczelni – p.mazurek@pollub.pl*

*dr inż. Andrzej Kociubiński – a.kociubinski@pollub.pl*

*dr inż. Piotr Filipek – piotr.filipek@pollub.pl*

*dr hab. inż. Tomasz Koltunowicz, prof. uczelni – t.koltunowicz@pollub.pl*

*dr inż. Sebastian Styła – s.styla@pollub.pl*

*dr inż. Marcin Maciejewski – m.maciejewski@pollub.pl*

*dr inż. Jacek Majcher – j.majcher@pollub.pl*

SPONSORZY I INSTYTUCJE WSPIERAJĄCE  
X SYMPOZJUM NAUKOWE  
ELEKTRYKÓW I INFORMATYKÓW

**SAMSUNG** Inkubator



*Dziękujemy !*

# PATRONI X SYMPOZJUM NAUKOWEGO ELEKTRYKÓW I INFORMATYKÓW

Patronat Prezesa Urzędu Komunikacji Elektronicznej



Patronat Lubelskiego Oddziału Stowarzyszenia Elektryków Polskich



Patronat Jego Magnificencji Rektora Politechniki Lubelskiej



Patronat Dziekana Wydziału Elektrotechniki i Informatyki





# POLITECHNIKA LUBELSKA

## WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI I INFORMATYKI

20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 38A

tel. (+ 48) 815384287

<http://www.weii.pollub.pl>

e-mail: [rekrutacja.weii@pollub.pl](mailto:rekrutacja.weii@pollub.pl)



### OFERTA DYDAKTYCZNA WYDZIAŁU

#### STUDIA W SYSTEMIE STACJONARNYM I NIESTACJONARNYM

#### I stopień (studia inżynierskie)

**ELEKTROTECHNIKA**  
**INFORMATYKA**  
**INŻYNIERIA MULTIMEDIÓW**  
**INŻYNIERSKIE ZASTOSOWANIA INFORMATYKI W ELEKTROTECHNICE**  
**MECHATRONIKA** (z Wydz. Mechanicznym)  
**INŻYNIERIA BIOMEDYCZNA** (z Wydz. Mechanicznym)

Elektrotechnologie OZE  
 Inteligentne technologie w elektrotechnice  
 Elektroenergetyka  
 Projektowanie urządzeń elektrycznych  
 Napędy elektryczne w automatyce przemysłowej  
 Elektronika stosowana  
 Elektrotechnika w pojazdach samochodowych

Power and Measurement

#### II stopień (studia magisterskie)

**ELEKTROTECHNIKA**  
**INFORMATYKA**  
**MECHATRONIKA**  
**INŻYNIERIA BIOMEDYCZNA**

(specjalności)

Aplikacje internetowe  
 Technologie wytwarzania oprogramowania  
 Grafika i gry komputerowe  
 Sieci informatyczne  
 Rozproszone systemy informatyczne - Internet Rzeczy

Mobile application development (studia stacjonarne w jęz. ang.)  
 IT Networks (studia stacjonarne w jęz. ang.)

Elektroniczna aparatura i informatyka medyczna  
 Technologie wytwarzania w inżynierii biomedycznej

Systemy mobilne w mechatronice  
 Mechatronika samochodowa

**WIĘCEJ O REKRUTACJI NA**  
**<http://rekrutacja.weii.pollub.pl>**  
**tel. 81 5384742**

