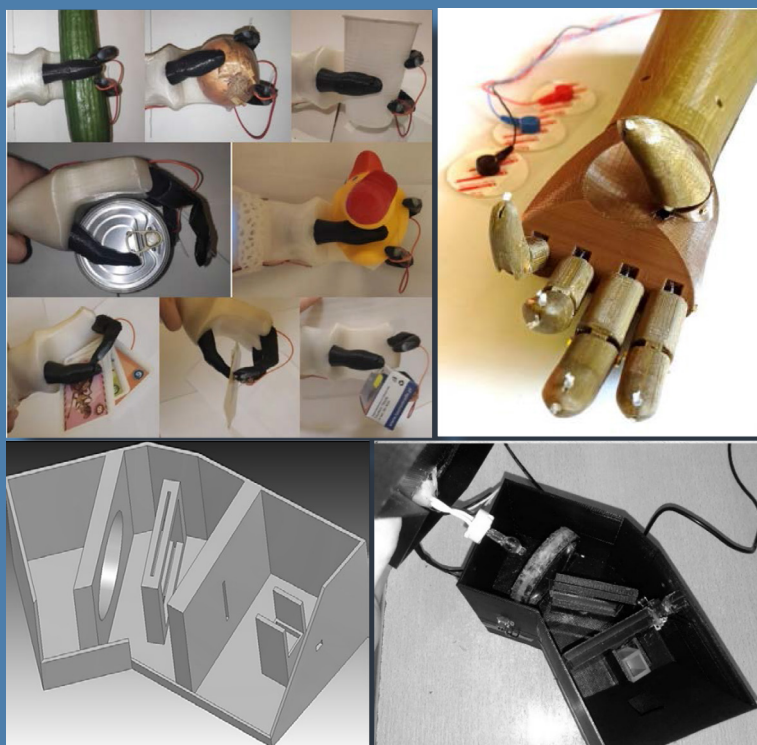


Problemy Współczesnej Inżynierii

Wybrane zagadnienia elektrotechniki i informatyki w przemyśle i medycynie



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 informatyki
w przemyśle i medycynie

Monografie – Politechnika Lubelska



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

Problemy Współczesnej Inżynierii

Wybrane zagadnienia elektrotechniki i informatyki
w przemyśle i medycynie

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: 978-83-7947-417-2

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

Druk: DjaF – 30-092 Kraków, ul. Kmietowicza 1/1
www.djaf.pl

Elektroniczna wersja książki dostępna w Bibliotece Cyfrowej PL www.bc.pollub.pl

Nakład: 50 egz.

SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA	7
1 KATARZYNA MOLICKA, <i>Projekt protezy ręki z kontrolą nacisku</i>	9
2 KLAUDIA NOWAK, KAROL BUCZEK, AGNIESZKA DUDZIAK, <i>Optimalizacja procesów zarządzania firmą z zastosowaniem koncepcji Kaizen</i>	22
3 KLAUDIA NOWAK, KAROL BUCZEK, MONIKA STOMA, <i>Zjawisko galopującej robotyzacji w procesach produkcyjnych</i>	32
4 OLEKSANDR PARFENIUK, OLEKSANDR NAUMCHUK, BOGDAN SYDORCHUK, <i>Application of neural network technologies in an automated system for monitoring the flow rate of oil products</i>	42
5 PAULINA PŁONKA, <i>Badania toksyczności nanostruktur węglowych i zastosowania w medycynie</i>	52
6 DOMINIKA SEMENIUK, JULIA KLAMEREK, AGNIESZKA DUDZIAK, <i>Zastosowanie rozwiązań komputerowych w ruchu kolejowym</i>	70
7 DARIA STEFAŃCZAK, <i>Projekt protezy kończyny górnej sterowanej sygnałem EM</i>	82
8 EWA SZCZĘSNA, <i>Badanie warstw fotorezystowych stosowanych w procesach fotolitografii</i>	100
9 DIANA TUROWSKA, <i>Nowe technologie w urządzeniach elektronicznych stosowanych w fizjoterapii</i>	112
10 AGATA SEROCZYŃSKA, MARCIN MACIEJEWSKI, <i>Stanowisko pomiarowe do analizy właściwości fizykochemicznych mieszaniny sypkiej</i>	119
11 KRZYSZTOF BOROWY, ANDRZEJ GAWLIK, ADAM KONIUSZY, <i>Projekt instalacji fotowoltaicznej dla łodzi rekreacyjnej</i>	131
12 KAMIL STEMPOWSKI, KRZYSZTOF BOROWY, ANDRZEJ GAWLIK, ADAM KONIUSZY, <i>Wpływ natężenia ruchu pojazdów spalinowych na stężenie substancji szkodliwych w powietrzu na terenach rekreacyjnych Szczecina</i>	138
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 zaszczylicili 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 Wrzosa, 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.

Niezmierznie 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*

Katarzyna MOLICKA⁽¹⁾

⁽¹⁾ Politechnika Lubelska, WEiI, Studenckie Koło Naukowe Elektroników „MICROCHIP”

PROJEKT PROTEZY RĘKI Z KONTROLĄ NACISKU

1. Wstęp

Ręka pełni wiele zadań ruchowych, ale także służy do ekspresji emocji i jest głęboko zakorzeniona w kulturze jako symbol. Nic więc dziwnego, że amputacja ręki jest przeżyciem traumatycznym i pacjenci szukają substytutów ją imitujących w jak największym stopniu bądź też zapewniającym im dużą funkcjonalność, umożliwiającą powrót do codziennych aktywności.

Mogłoby się wydawać, że osoby zmagające się z brakiem kończyny stanowią nieliczny procent społeczeństwa, a wraz z rozwojem medycyny liczba amputacji będzie się zmniejszać. Nie jest niestety możliwe kompletne ich wyeliminowanie: zawsze istnieje prawdopodobieństwo utraty kończyny w wyniku wypadków komunikacyjnych, wypadków przy pracy, urazów będących skutkiem działań zbrojnych bądź przebiegu choroby. Niektóre osoby rodzą się bez w pełni wykształconych kończyn. Pomimo gwałtownego rozwoju technologii nadal brakuje na rynku funkcjonalnych protez w przystępnej cenie i niezbędne jest zapalenie tej luki.

Dostępne protezy ręki można podzielić na dwie główne kategorie: protezy pasywne oraz protezy aktywne. Protezy pasywne nie są przystosowane do wykonywania żadnych zadań, a użytkownik nie jest w stanie aktywnie kontrolować położenia poszczególnych palców czy chwytać przedmiotów. Protezy aktywne są w stanie wspomóc użytkownika przez wykonywanie konkretnych ruchów bądź czynności.

Protezy z komponentami elektronicznymi stanowią obecnie najprężniej rozwijającą się niszę na rynku protez. Nowe rozwiązania starają się wyjść naprzeciw oczekiwaniom użytkowników oraz wyeliminować główne wady takich protez- dużą wagę, wysoki koszt oraz nieintuicyjne sterowanie. Protezy te mogą posiadać końcówki robocze w postaci układów przypominających wyglądem ludzką rękę bądź też systemów z hakami czy chwytakami dwu- lub trójpalczastymi. Dostępne rozwiązania komercyjne w zakresie sterowania wykorzystują czujniki mierzące potencjał czynnościowy mięśni, kontrolery IMU oraz różnego typu przetworniki i przełączniki [1], [2].

2. Założenia projektowe

Głównym założeniem projektu było stworzenie projektu protezy ręki, która pozwoli użytkownikowi na sterowanie siłą, z jaką chwytny jest przedmiot. W zakresie pobierania sygnału wejściowego przyjęto uproszczenie – kontrola protezy odbywa się przez aplikację na smartfon stworzoną przy pomocy oprogramowania Open Source: MIT App Inventor [3]. Ogranicza to ruchy drugiej, zdrowej ręki użytkownika, ale optymalny sposób pobierania i interpretacji sygnałów wejściowych sterujących protezami jest zagadnieniem złożonym i nie został on szerzej poruszony w niniejszym projekcie.

Przyjęto, że użytkownik protezy jest osobą po amputacji transradialnej (zachowany staw łokciowy i część przedramienia) oraz posiada drugą zdrową rękę. Założono, że nie jest osobą niewidomą. Przy projektowaniu protezy sugerowano się danymi antropometrycznymi dostępnymi w literaturze [4] dla mężczyzn z populacji europejskiej w wieku powyżej 30 lat, a zwłaszcza wymiarami maksymalnymi ręki (95 percentyli) w celu zwiększenia powierzchni chwytu oraz wymiarami przeciętnymi przedramienia (50 percentyli) w celu bardziej estetycznego dopasowania obudowy na elektronikę imitującej fragment przedramienia.

Model powinien być możliwie lekki, odporny na uszkodzenia, prosty w obsłudze oraz wykonany z ogólnodostępnych materiałów i komponentów. Powinien zapewniać możliwie łatwy dostęp do części elektronicznych oraz układu mechanicznego w celu ewentualnej diagnostyki problemów lub uszkodzenia któregoś z elementów. Założono, że zostanie on wykonany w technologii druku 3D.

Na rysunku 1. przedstawiono schematycznie działanie protezy. Użytkownik za pomocą aplikacji na smartfon zmienia poziom napięcia cięgien i kontroluje chwyt na obiekcie, obserwując położenie palców oraz wartości siły nacisku wyświetlane na ekranie LCD.



Rys. 1. Działanie protezy

3. Projekt mechaniczny

Zdecydowano się na wykonanie projektu mechanicznego przy użyciu oprogramowania CAD SolidWorks 2018 z powodu jego wcześniejszej znajomości oraz funkcji, jakie oferuje (złożenia, wykrywanie kolizji, eksport plików w formacie STL, dostępność biblioteki komponentów elektronicznych). Do wykonania projektu wykorzystano metodę modelowania hybrydowego, łączącego modelowanie bryłowe z modelowaniem powierzchniowym, w celu osiągnięcia bardziej organicznego kształtu protezy.

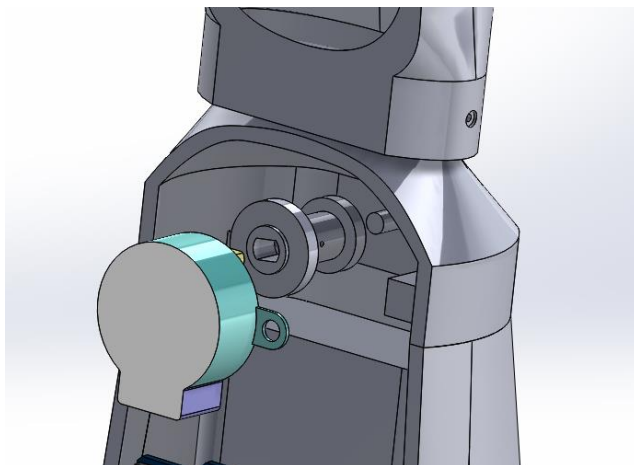
Projekt protezy wykonano inspirować się geometrią oraz funkcjami ręki ludzkiej. Będąc jednak świadomym, że niemożliwe i nielogiczne byłoby wierne jej odwzorowanie, zastosowano szereg uproszczeń oraz rozwiązań konstrukcyjnych w celu osiągnięcia jak największej funkcjonalności.

Przyjęto, że proteza ręki będzie miała nieruchomy, przeciwny kciuk oraz dwa ruchome palce, ponieważ na podstawie obserwacji czynności dnia codziennego wykonywanych przy pomocy rąk stwierdzono, że pozwoli to wykonanie większości z nich przy zachowaniu maksymalnego uproszczenia układu sterującego. Zgięcie palców odbywać się będzie przez napięcie i skrócenie ścięgna, dlatego w modelu zwrócono uwagę na rozmieszczenie kanałów, którymi zostaną poprowadzone. Do wykonania palców zdecydowano się na użycie materiału o pewnym stopniu elastyczności w celu zminimalizowania ryzyka zniszczenia układu podczas uderzenia lub zaczepienia o coś. Dodatkowo, materiał elastyczny przy zaprojektowanej geometrii palca ma również za zadanie ich odwodzenie w momencie zmniejszenia naciągu ścięgna. Palce zbudowane są z dwóch segmentów, ponieważ zdecydowano, że zakres ruchu w stawie międzypaliczkowym dalszym jest stosunkowo niewielki (zginanie: 5° , przeprost, przywodzenie, odwodzenie: 0°) i jego usztywnienie pozwoli na zwiększenie stabilności układu bez negatywnego wpływu na ogólną funkcjonalność palca [5], [6]. W miejscu stawu śródręczno-paliczkowego zastosowano połączenie w postaci zawiasu montowanego na bolcu. Zmniejszono ilość materiału w podstawie kciuka, aby możliwa była pewna jego deformacja przy montażu. Palce zostały spłaszczone po stronie wewnętrznej oraz kciuk został nieznacznie poszerzony w celu osiągnięcia większej powierzchni chwytu.

Dłoń zaprojektowano tak, aby możliwe było wykonanie zarówno chwytu siłowego, jak i precyzyjnego. W tym celu palce nie zostały zamontowane równolegle względem siebie: osie obrotu palców przecinają się pod kątem ok. 130° . Powierzchnię dłoniową wyprofilowano na kształt łuku. Powierzchnie boczne zamodelowano tak, aby ułatwione było przytrzymywanie przedmiotów bądź ich przesuwanie.

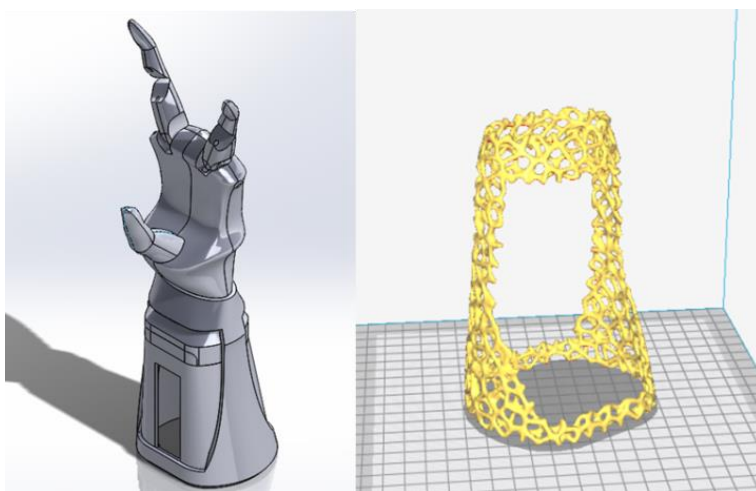
Nadgarstek usztywniono w celu uzyskania większej stabilności, natomiast nadal możliwa jest rotacja protezy ręki jako konsekwencja supinacji i pronacji

przedramienia. Powyżej nadgarstka znajduje się fragment obudowy przystosowany do montażu silnika krokowego i rolki, na którą nawijane są cięgna.



Rys. 2. Zbliżenie ukazujące mechanizm odpowiedzialny za nawijanie

Dalszą część przedramienia, stanowiącą obudowę na elektronikę oraz fragmentaryczny lej protetyczny, wykonano modułowo. Lej protetyczny został wykonany jedynie podglądowo, istnieje potrzeba dostosowania go do konkretnego przypadku. W celu zmniejszenia wagi wygenerowano dziuplasty wzór według diagramu Woronoja przy pomocy dostępnego online Voronatora [7]. Zastosowano opcje: format pliku wyjściowego – STL, liczba otworów – mniejsza, grubość nowej warstwy: grubsza.

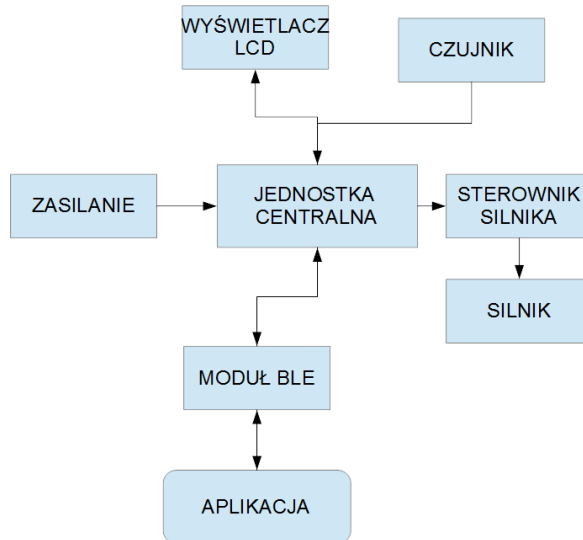


Rys. 3. Złożenie podglądowe z skróconym lejem; przygotowany do druku lej po modyfikacji

4. Projekt elektroniczny

Do sterowania układem zastosowano płytke Arduino UNO w wersji 3. Płtke wybrano ze względu na jej dostępność, znajomość środowiska oraz wystarczające na potrzeby projektu parametry.

Do zasilenia układu zastosowano baterię mobilną firmy Xiaomi, model NDY-02-AN. Baterię wybrano ze względu na jej dostępność, wystarczająco dużą pojemność oraz wygodę ładowania.



Rys. 4. Schemat blokowy układu elektronicznego

Napęd w projekcie miał za zadanie naciąganie i odpuszczanie cięgna przywodzącego palce. Powinien być zasilany ze źródła prądu stałego, gdyż charakterystyka projektu wymaga dużej mobilności. Dodatkowo powinien pozwalać na możliwie prostą i dokładną kontrolę położenia, aby uniknąć zniszczenia przedmiotu lub zerwania cięgna. Zdecydowano się na użycie silnika krokowego – w projekcie wymagana była wysoka precyzja napędu oraz duży moment obrotowy przy niskich prędkościach wraz z wysokim momentem trzymania – stwierdzono, że ważniejsza od szybkiego wykonywania ruchów palców jest precyzyjna kontrola siły nacisku.

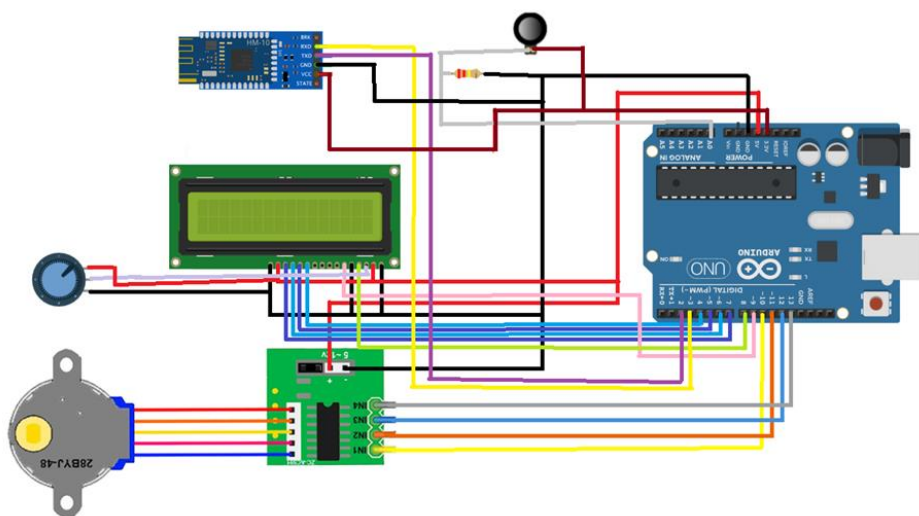
Mimo, że silniki krokowe mogą pomijać kroki przy dużych obciążeniach stwierdzono, że nie będzie to negatywnie wpływać na ten projekt – użytkownik kontroluje napięcie cięgien manualnie, obserwując pozycję palców i wyświetlaną na ekranie LCD wartość siły wywieranej na przedmiot. Wykorzystano unipolarny silniczek krokowy 28BYI-48 z sterownikiem ULN2003. Silniczek wybrano ze względu na jego dostępność, małą wagę i wymiary, niską cenę,

niewielki pobór prądu (0,1 A na cewkę) oraz fakt, że zasilany jest napięciem 5V, dzięki czemu nie ma potrzeby stosowania oddzielnego źródła zasilania i można w tym celu wykorzystać pin 5 V na płycie Arduino Uno.

Do pomiaru siły nacisku wywieranej na przedmiot podczas chwytania zdecydowano się na użycie rezystancyjnego czujnika nacisku RA9P- ze względu na jego geometrię zewnętrzną (założono, że czujnik zamontowany będzie na palcu, dlatego musiał mieć odpowiednio małe rozmiary) oraz korzystną cenę i parametry w porównaniu do innych dostępnych czujników nacisku.

Zdecydowano o wykorzystaniu wyświetlacza LCD, zamontowanego po wewnętrznej stronie części przedramiennej protezy w celu wyświetlenia wartości siły nacisku na czujniku i otrzymania informacji zwrotnej. Wykorzystano wyświetlacz LCD 2X16 znaków JHD162A-B-W z niebieskim negatywem bez konwertera magistrali (z powodu jego dostępności, wystarczającej liczby wyświetlanych znaków oraz korzystnej ceny).

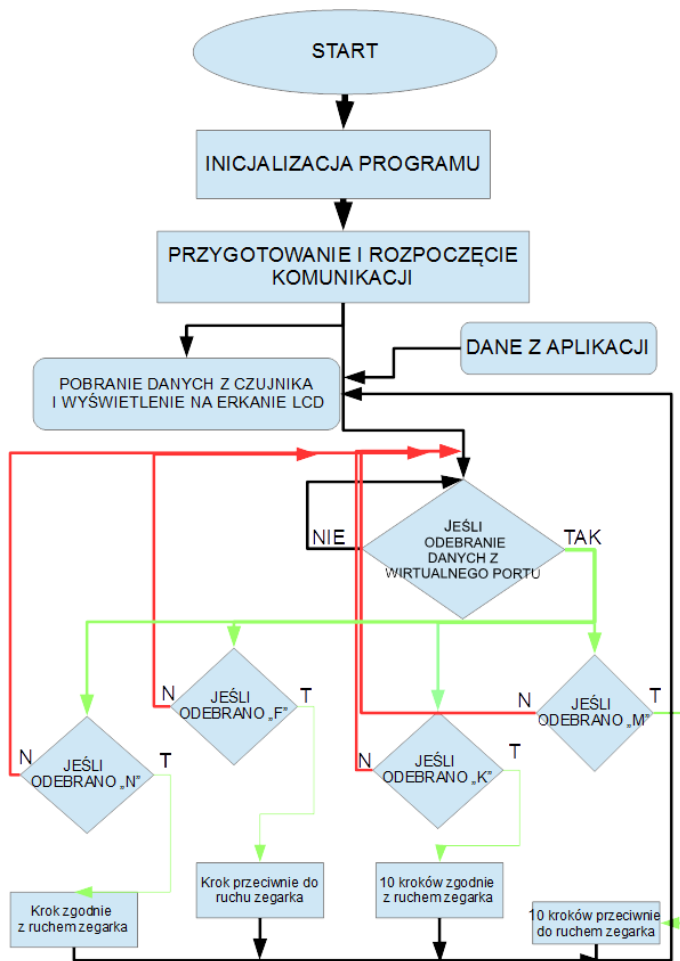
Do komunikacji z smartfonem użyto modułu Bluetooth Low Energy w wersji 4.0 HM-10 MLT-BT05 (klon modułu HM-10), gdyż jest on wyjątkowo energooszczędny, posiada wystarczający zasięg, jest szeroko dostępny, ma korzystną cenę oraz wbudowany konwerter napięć (możliwe zasilanie w standardzie 3,3 V i 5 V).



Rys. 5. Schemat układu elektronicznego

5. Algorytm sterujący

Program sterujący działaniem układu stworzono w języku C w środowisku Arduino IDE. Zadaniem programu było sterowanie silnikiem na podstawie pobranych przez moduł BLE do monitora portu szeregowego zmiennych w typie String, pochodzących z aplikacji na smartfon (a więc także umożliwienie komunikacji z modułem BLE), odczyt i zmapowanie wartości na czujniku siły nacisku oraz wyświetlenie ich na ekranie LCD.



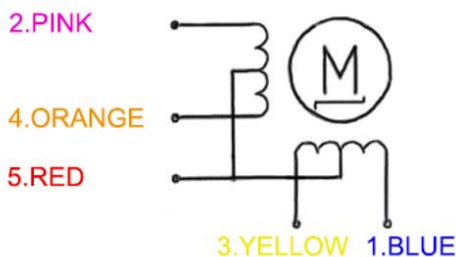
Rys. 6. Uproszczony schemat blokowy działania programu

W tym celu dołączono trzy biblioteki: *SoftwareSerial.h* (umożliwiająca komunikację z modułem BLE), *LiquidCrystal.h* (pozwalającą na użytkowanie ekranu LCD) oraz *Metro.h* (w celu kontroli przepływu czasu).

Nie zastosowano żadnej biblioteki pozwalającej na sterowanie silnikiem krokowym, a pojedynczy krok został wykonany przez pobudzenie kolejnych faz przez zmianę stanu na pinach Arduino skonfigurowanych jako wyjście (OUTPUT), połączonych z pinami IN1-IN4 sterownika ULN2003. Zdecydowano się na użycie sterowania pełnokrokowego, gdzie dwie fazy aktywne są jednocześnie. Stwierdzono, że większa precyzja nie będzie niezbędna i korzystniejsze będzie osiągnięcie jak największego momentu wyjściowego- z tego powodu odrzucono sterowanie falowe (tylko jedna faza aktywna, proste sterowanie, ale nie ma możliwości wykorzystania maksymalnego momentu) oraz sterowanie półkrokowe (w danym momencie aktywna jedna bądź dwie fazy, średni moment wyjściowy, ale najmniejszy krok, dobre do bardzo precyzyjnych układów). Przy wybranej metodzie sterowania ustalono, że pojedynczy krok osiąga wartość $11,25^\circ$, a do wykonania pełnego obrotu niezbędne jest wykonanie 32 kroków.

Tabela 1. Opis zmiany aktywności faz cewek w silniku krokowym podczas wykonywania kroku

	Niebieski (IN1)	Różowy (IN2)	Żółty (IN3)	Pomarańczowy (IN4)
Krok w kierunku przeciwным do ruchu zegarka	1	1	0	0
	0	1	1	0
	0	0	1	1
	1	0	0	1
Krok w kierunku zgodnym z ruchem zegarka	1	0	0	1
	0	0	1	1
	0	1	1	0
	1	1	0	0

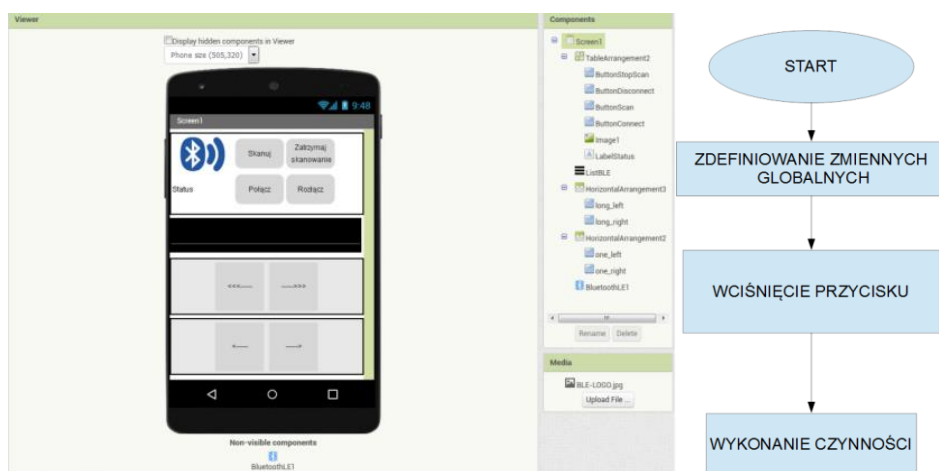


Rys. 7. Schemat ideowy silnika krokowego 28BYI-48

6. Aplikacja do sterowania

Aplikację do sterowania wykonano na system Android, ponieważ taki znajdował się na smartfonie używanym do testów. Wykonano ją przy pomocy dostępnego online darmowego zintegrowanego środowiska programistycznego MIT App Inventor [8]. Pozwala ono na stworzenie prostych aplikacji w wyjątkowo intuicyjny i szybki sposób. Interfejs aplikacji tworzy się w sekcji „Designer” przeciągając wybrane elementy na ekran wirtualnego smartfona. Następnie, w sekcji Blocks przy pomocy bloczków z poleceniami oraz funkcjami „programuje się” działanie aplikacji.

Program złożony z bloczków można podzielić na dwa zasadnicze fragmenty: część odpowiadającą za nawiązanie komunikacji z modulem BLE oraz część odpowiedzialną za wysyłanie do niego informacji (w postaci zmiennych o typie String). Aby możliwe było połączenie z modulem BLE niezbędna była instalacja rozszerzenia obsługującego ten typ Bluetooth, gdyż był on niedostępny w wersji podstawowej [9]. Aplikacja ta stworzona jest jedynie na użytek sterowania protezą ręki i umożliwia wymianę informacji z konkretnym modulem BLE (wprowadzono jego Service UUID oraz Characteristic UUID).



Rys. 8. Interfejs aplikacji i uproszczony schemat działania aplikacji

Interfejs aplikacji składa się z czterech przycisków służących do nawiązania połączenia z protezą („Skanuj”-wyszukuje dostępne w okolicy urządzenia BLE, „Zatrzymaj skanowanie” – zatrzymuje proces skanowania, „Połącz” – nawiązuje połączenie z wybranym z listy urządzeniem, „Rozłącz” – rozłącza połączenie z danym urządzeniem) oraz czterech przycisków służących do sterowania położeniem silnika krokowego (gdzie „--->” jest krokiem pojedynczym,

a „--->>>” wykonuje 10 kroków). Zamieszczona jest także informacja o aktualnym statusie połączenia.

7. Wykonanie praktyczne modelu i przeprowadzone testy

Do wykonania elementów elastycznych wykorzystano elastomer plastyczny na bazie poliestru Verbatim Primalloy o grubości 1,75 mm w kolorze czarnym. Posiada on twardość A85 w skali Shore’a i jest odporny na promieniowanie UV oraz oleje i smary. Wybrano go z powodu jego dostępności oraz faktu, że jego wydruk był możliwy bez wykonywania szeroko zakrojonych modyfikacji drukarki 3D używanej do wykonania modelu. Creality Ender 3 posiada Ekstruder Bowden – ekstruder zamontowany jest nieruchomo na ramie zewnętrznej, a filament podawany jest przez teflonową rurkę do hotendu; w przypadku drukowania materiałów o dużej elastyczności może generować to problemy i optymalnym rozwiązaniem byłaby zmiana położenia ekstrudera, np. montując go na osi X. W przypadku użycia Verbatim Primalloy druk możliwy był po jedynie lekkiej modyfikacji ekstrudera [10].

Metodą prób i błędów dobrano odpowiednią grubość materiału w miejscu zgięcia palca (Rys. 9).



Rys. 9. Wykonane modele palców

Resztę elementów wykonano z filamentu PLA 3DGence o grubości 1,75 mm w kolorze natural. Materiał ten został wybrany ze względu na łatwość druku oraz dostępność. Kolor natural wykazuje pewien stopień przezroczystości, dlatego możliwa jest obserwacja diody na module BLE sygnalizującej status połączenia.

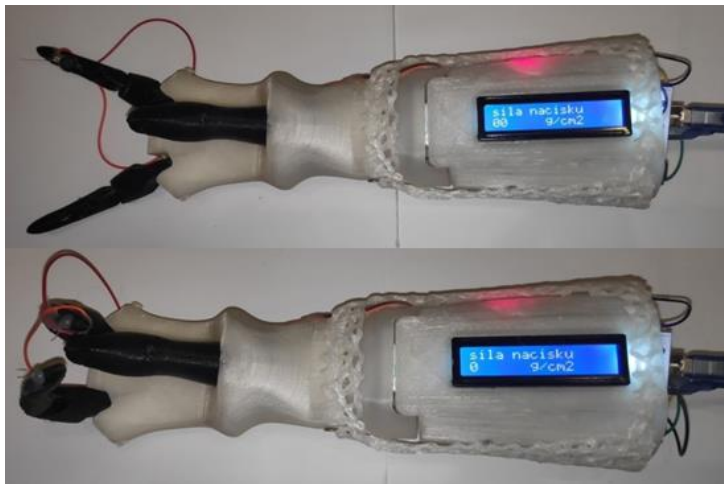
Wydruki wykonano z wypełnieniem 100%. Niektóre elementy zostały wydrukowane z użyciem podpór i niezbędne było późniejsze ich usunięcie. Część detali wymagała obróbki przy użyciu papieru ściernego.

Jako cięga użyto żyłki wędkarskiej Exclusive firmy York o grubości 0,50 mm, zdolnej do przenoszenia obciążeń o wartości 30,50 kg. Jest ona wykonana z włókien poliamidowych i jest miękka oraz gładka, dzięki czemu nie ulega załamaniom oraz nie stawia dużego oporu poruszając się w kanałach protezy.

Wykonany model waży 678 g. Całkowity czas wydruku wszystkich elementów ostatecznego modelu wyniósł około 88 h i zużyto ok. 550 g PLA i ok. 100 g TPE. Koszt wykonania takiej protezy oszacowano w przybliżeniu na 300 zł.

Przeprowadzono testy wykonanego modelu, polegające na symulacji zachowania potencjalnego użytkownika protezy. Sprawdzono działanie aplikacji. Możliwe jest nawiązanie łączności z protezą, wszystkie przyciski działają zgodnie z założeniem i możliwa jest kontrola pozycji silnika krokowego, a tym samym naciąganie i poluzowanie żyłki.

Wartość z czujnika wyświetlana jest w sposób czytelny na ekranie LCD. Przetestowano funkcjonalność ukształtowania powierzchni bocznej dłoni. Przytrzymywanie bądź przesuwanie przedmiotów za jej pomocą jest wygodne i praktyczne.



Rys. 10. Działający prototyp

Przeprowadzono testy polegające na chwytaniu przedmiotów o różnej geometrii. Model zdolny jest do chwycenia i utrzymania bez ich uszkodzenia przedmiotów jak ogórek, cebula, plastikowy kubeczek, gumowa kaczka, małe pudełko, kilka kart. Nie udało się natomiast uzyskać stabilnego chwytu pensetowego przedmiotów o małej średnicy (np. marker czy ołówek) oraz nie jest możliwe chwytanie przedmiotów o większej średnicy (np. puszki z kukurydzą).



Rys. 11. Użycie wyprofilowanej powierzchni bocznej do przytrzymywania przedmiotów podczas czynności dnia codziennego



Rys. 12. Chwyty wykonywane podczas przeprowadzania testów

8. Podsumowanie

Stworzony model protezy spełnia założenia projektowe i jest on w stanie wspomóc użytkownika w wykonywaniu czynności dnia codziennego, chociaż niezbędne są dalsze badania w celu uzyskania większego stopnia optymalizacji.

Aby przystosować protezę dla szerszego grona użytkowników należałoby podjąć próby umiejscowienia napędu i układu sterującego w dłoni, aby jak najbardziej zminimalizować długość części przedramiennej. Korzystniejsze byłoby także zastosowanie innej oprócz obserwacji wizualnej metody otrzymywania przez użytkownika informacji zwrotnej- przykładowo przez wprowadzenie systemu wibrującego ze zmiennym natężeniem.

Można byłoby w większym stopniu zredukować ciężar protezy przez zmianę źródła zasilania – użyta bateria mobilna waży 206 g i stanowi ponad 30% masy całego modelu.

Chociaż ciągle na rynku brakuje przystępnych cenowo i funkcjonalnych protez, szybki rozwój i popularyzacja technologii druku 3D napawa nadzieją na zmianę tego stanu. Nie bez znaczenia jest też fakt, że cały czas pojawiają się nowe materiały przystosowane do druku. Szczególnie obiecujący jest rozwój technologii PolyJet, umożliwiającej symultaniczne drukowanie kilku materiałów.

Literatura

- [1] Strona zakładu ortopedycznego, <https://ortopartner.pl> (dostęp: 3.12.2019).
- [2] Protezy ręki dostępne w ofercie zakładu ortopedycznego OttoBock, <https://shop.ottobock.us/Prosthetics/Upper-Limb-Prosthetics> (dostęp: 3.12.2019).
- [3] Strona do projektowania aplikacji App Inventor, <http://appinventor.mit.edu/> (dostęp: 28.12.2019).
- [4] Pomiary antropometryczne przeprowadzone przez NASA, <https://msis.jsc.nasa.gov/sections/section03.htm> (dostęp: 20.12.2019).
- [5] Cobos S., Ferre M., Uran S., Ortego J., Pena C., *Efficient human hand kinematics for manipulation tasks*, Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS '08), Nice 2008.
- [6] Tejszerska D., Świtoński E., Gzik M., *Biomechanika narządu ruchu człowieka*, Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji-PIB, Gliwice 2011.
- [7] Generator teselacji Woronoja online, <https://www.voronator.com> (dostęp: 20.12.2019).
- [8] Strona do projektowania aplikacji App Inventor, appinventor.mit.edu (dostęp: 28.12.2019).
- [9] Rozszerzenie BLE do App Inventor <http://iot.appinventor.mit.edu/assets/resources/edu.mit.appinventor.ble.aix> (dostęp: 28.12.2019).
- [10] Modyfikacja ekstrudera, <https://www.thingiverse.com/thing:3320373> (dostęp: 28.12.2019).

Klaudia NOWAK, Karol BUCZEK, Agnieszka DUDZIAK⁽¹⁾

⁽¹⁾ Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie Wydział Zarządzania i Inżynierii Produkcji,
Studenckie Koło Zarządzania i Ekonomii

OPTYMALIZACJA PROCESÓW ZARZĄDZANIA FIRMĄ Z ZASTOSOWANIEM KONCEPCJI KAIZEN

1. Wprowadzenie

Zarządzanie to skomplikowany proces będący nieodłączną częścią funkcjonowania każdego przedsiębiorstwa. Obejmuje ono wszystkie działania mające na celu osiągnięcie wcześniej wyznaczonych celów w sposób skuteczny i możliwie najszybszy. Na wydajność zarządzania składają się trzy aspekty: jakość, środowisko i bezpieczeństwo. Podstawowym celem każdego przedsiębiorstwa produkcyjnego jest osiągnięcie jak najwyższego zysku, przy jednoczesnym dbaniu o odpowiednią jakość wytwarzanych produktów. Produkcja musi być bezpieczna dla środowiska i zgodna z obowiązującymi zasadami bezpieczeństwa i higieny pracy.

Filozofia Kaizen jest jedną z wielu koncepcji zarządzania, która funkcjonuje w coraz większej ilości współczesnych organizacji. Powstała ona w latach 40-tych XIX wieku w Japonii, a jej prekursorem był amerykański statystyk William Edwards Deming. Naukowiec rzucił nowe światło na pojęcie jakości. Wykazał, że jakość nie może odnosić się do konkretnych cech, a wręcz przeciwnie należy ją rozpatrywać w pojęciu holistycznym. Podstawą Kaizen jest ciągłe doskonalenie każdej płaszczyzny przedsiębiorstwa. Ulepszanie odpowiadające na zachodzące w otoczeniu zmiany wymaga zaangażowania i gotowości na ciągłe metamorfozy. W powojennej Japonii większość firm zaczynała od podstaw. Założenia Kaizen wprowadziły nową energię w podupadłe po II wojnie światowej państwo i pełniły ważną rolę podczas gospodarczej odbudowy Japonii. Koncepcja ta metodą małych kroków wprowadzała wyczekiwany ład i porządek i ostatecznie pozwoliła zbudować od podstaw sposoby zarządzania w przedsiębiorstwach produkcyjnych i usługowych w państwie, co w konsekwencji doprowadziło do zmiany myślenia całego społeczeństwa.

2. Wprowadzenie filozofii Kaizen poprzez angażowanie pracowników

Obecnie koncepcja Kaizen jest znana i stosowana na całym świecie. Jej wprowadzenie należy rozpocząć od podstaw, a więc od ukierunkowania myślenia i działania wszystkich pracowników według ogólnie zdefiniowanych reguł i założeń, które można modyfikować i dostosowywać do własnej działalności w taki sposób, aby istota działania koncepcji została zachowana. Kaizen angażuje zarówno najwyższe kierownictwo, jak i pracowników na najniższych szczeblach. Mają oni realny wpływ na losy firmy, są zaangażowani we wprowadzanie zmian mających na celu ciągle doskonalenie własnych działań, ale również ulepszanie działalności całego przedsiębiorstwa.

Narzędzia filozofii Kaizen są konieczne do obniżenia kosztów produkcji, przy jednoczesnym wzroście jakości. Koncepcja ta przyjmuje za oczywiste występowanie problemów na każdym szczeblu przedsiębiorstwa, a za swoje zadanie przyjmuje znalezienie sposobów na ich rozwiązanie. Według Kaizen nie istnieją złe pomysły, swoje zdanie może wyrazić każdy pracownik niezależnie od pełnionej funkcji. Wszystkie spostrzeżenia i uwagi dotyczące obserwowanej działalności przedsiębiorstwa pozwalają wytypować optymalne rozwiązanie rozpatrywanego problemu. Burza mózgów wśród pracowników jest jednym z powszechnie używanych narzędzi, duża liczba pomysłów i uwzględnienie zdania każdej jednostki wzmacnia więź pracownika z firmą, co powoduje generowanie większych korzyści z działalności pracowników.

Kaizen opiera się na metodzie małych kroków mających przynieść długofalowe skutki. Na pojedynczą zmianę może się składać reorganizacja działalności grupy ludzi w długim okresie czasu. Jednostkowa aktywność nie będzie wystarczająca, gdyż tylko sumienność w zaplanowanym działaniu, jego obserwacja i powtarzalność na przestrzeni czasu pozwoli wyodrębnić zmiany, określić ich wpływ i dostrzec ewentualne błędy. Doskonalenie i chęć dokonywania korzystnej przebudowy powinno się zatem stać codziennością.

3. Założenia dla zasad metody Kaizen

Metoda Kaizen w przedsiębiorstwie ma za zadanie włączyć całą kadrę w proces doskonalenia na różnych jego etapach. Do zadań pracowników należy ciągła analiza procesów, zasad postępowania, sposobów i standardów pracy. Pozwala to na odnalezienie i wyeliminowanie błędów i niedoskonałości w działaniu przedsiębiorstwa. Dzięki temu nawet (a może przede wszystkim) szeregowi pracownicy uczestniczą w ciągłym doskonaleniu (np. poprzez propozycje usprawnienia ich stanowiska pracy, które właśnie oni znają najlepiej).

Co ważne proces doskonalenia metodą tzw. „małych kroków” powoduje, iż jego rezultaty nie są znane i zauważalne od razu, lecz po upływie pewnego czasu.



Rys. 1. Dziesięć zasad koncepcji Kaizen [6]

Koncepcję Kaizen można przedstawić w 10 zasadach [6]:

1. Problemy stwarzają nowe możliwości: Każda nieprzewidziana sytuacja i powstająca w jej skutek przeszkoda może stać się bodźcem do opracowania korzystniejszych rozwiązań;
2. Należy pytać 5 razy „Dlaczego?” Pierwsza odpowiedź nie jest zadowalająca, gdyż dotyczy ona problemu tylko powierzchwniowo, kolejne pytania i dokładniejsza analiza pozwala dostrzec meritum powstałej trudności, określić jej przyczynę i dlaczego nie została wykryta wcześniej oraz wybrać sposób jej rozwiązania;
3. Należy przyjmować pomysły od wszystkich. Ta zasada po części została opisana powyżej. Mówi ona o angażowaniu wszystkich pracowników firmy niezależnie od szczebla zatrudnienia. Pomysły należy czerpać również poprzez słuchanie dostawców i odbiorców. Ważna jest także obserwacja działania konkurencji również pozwala wprowadzać nowe rozwiązania, tak aby nadążać nad panującymi trendami i ulepszać standardy;
4. Myślenie nad rozwiązaniami możliwymi do wdrożenia. Poszukiwane rozwiązanie powinno być możliwie najprostsze, co zdecydowanie ułatwi jego wdrożenie. Wybrany sposób powinien być możliwy do zrealizowania, dawać korzyści i uzyskać aprobatę osób, których zmiana wynikająca z jego wyboru może dotyczyć;

5. Należy odrzucić ustalony stan rzeczy. To co jest dobrym rozwiązaniem na ten moment już za chwilę może być niewystarczające. Świat ciągle się zmienia, nie istnieją więc sposoby idealne. Aby zarządzać skutecznie należy obserwować zmieniające się warunki i ciągle szukać tańszych, szybszych i wydajniejszych metod;
6. Nie przyjmowanie do wiadomości, że czegoś nie da się zrobić. Obawy przed nowym i nieznanym są nieuniknione, jednak nie ma rzeczy niemożliwych, na niektóre potrzeba po prostu więcej czasu. Zmiany są nieuniknione, trzeba je zaakceptować, nauczyć się je wprowadzać i traktować je jako nieodłączny element pracy;
7. Wybór prostych rozwiązań – nie czekając na te idealne. Nie istnieje jeden uniwersalny sposób na pokonanie wszystkich trudności. Zbyt duża złożoność rozwiązania komplikuje sytuację i generuje bardziej ryzykowne sytuacje. Proste sposoby są tańsze, łatwiejsze do wprowadzenia i przyjęcia przez większą liczbę osób;
8. Używanie sprytu zamiast pieniędzy. Wiele metod wykorzystuje posiadane już zasoby i potencjał bez użycia nakładów pieniężnych. W wielu przypadkach wystarcza przebudowa bieżącej sytuacji, która prowadzi do korzystnych zmian, osiągnięcia większej wydajności, a w konsekwencji do uzyskania większego zysku, przy bardzo małym lub zerowym wkładzie finansowym;
9. Korygowanie pomyłek na bieżąco. Błędy zdarzają się wszędzie, istotą koncepcji Kaizen jest ich szybkie dostrzeżenie, znalezienie przyczyny i wyeliminowanie. Pomyłek nie można lekceważyć, a momentu ich rozwiązania nie powinno się odkładać na później. Jeden błąd może pociągnąć za sobą łańcuch nieprawidłowości;
10. Ulepszanie powinno być realizowane bez końca. Kaizen wymaga czasu, koncepcja ta nie opisuje jednorazowej zmiany, a wiele pojedynczych działań rozłożonych w czasie. Systematyczność w stosowaniu tej koncepcji jest wartością nadrzędną. Należy ciągle szukać możliwości udoskonalenia tej samej rzeczy, która ze względu na zmieniające się otoczenie nigdy nie może być uznana za metodę doskonałą i zakończoną.

4. Korzyści płynące ze zastosowania filozofii Kaizen

Wszystkie istniejące obecnie koncepcje zarządzania posiadają szereg zalet ale także i wad. W zależności od rodzaju przedsiębiorstwa należy wybrać koncepcje najbardziej dopasowaną do swojej działalności. System Kaizen jest uważany za jedną z najbardziej korzystnych i funkcjonalnych wśród wszystkich proponowanych współcześnie opcji. Jak każdy z systemów posiada wady, ich

istnienie jest nieuniknione. Kaizen wymaga cierpliwości, dużego nakładu czasu, zaangażowania pracowników na wszystkich szczeblach, ciągłej obserwacji, dostrzegania błędów i podejmowaniu działań mających na celu ich eliminację. Powoduje to, że nie każda firma może sobie pozwolić na jej wdrożenie. Przedsiębiorstwa znajdujące się w sytuacji kryzysowej potrzebują nagłych zmian i Kaizen nie będzie dla nich odpowiednim ratunkiem. Mimo istnienia powyższych wad system Kaizen znacznie wyróżnia się wśród innych systemów. Posiada on wiele zalet do których zaliczamy:

- Powolne i etapowe działanie pozwalające na wprowadzenie szczegółowej reorganizacji działalności na wielu płaszczyznach. Wyklucza to zachwianie sytuacją firmy i eliminuje większość obaw pracowników.
- Metodę małych kroków, która ułatwia ograniczenie nakładów finansowych i pozwala przemyśleć metody postępowania w sytuacji wykrycia ewentualnych błędów.
- Zaangażowanie pracowników na wszystkich stanowiskach powoduje, że mają oni realny wpływ na los firmy i czują się jego nieodłączną częścią, a więc bardziej przykładają się do wykonywanych obowiązków.
- Niska odpowiedzialność, gdyż wszystkie nowe propozycje są konsultowane, więc odpowiedzialność nie obejmuje bezpośrednio tylko jednego pracownika.
- Niskie koszty wprowadzenia Kaizen, ponieważ podstawą działalności tej koncepcji jest szkolenie pracownika, wprowadzenie w firmie swobodnej atmosfery, która rozbudzi w nim chęć do angażowania się w los firmy.
- Zmniejszenie kosztów wytworzenia, które w konsekwencji powodują również obniżenie cen.
- Likwidowanie marnotrawstwa, które rozumiemy jako każde działanie, które nie przynosi firmie korzyści. Zasoby przedsiębiorstwa w postaci pracowników i ich potencjału są ciągle wykorzystywane, nie ma przerw w pracy, które narażają na dodatkowe koszty i opóźnienia.

5. Trudności występujące podczas wprowadzania koncepcji Kaizen w polskich przedsiębiorstwach

Przedsiębiorstwa na całym świecie z powodzeniem stosują różnorodne metody zarządzania. Kaizen jest jedną z najpopularniejszych filozofii i z coraz większym powodzeniem zostaje wdrażana w codzienną działalność również polskich firm. Jej długotrwałe i konsekwentne stosowanie może doprowadzić do sukcesu organizacyjnego. Jednak zanim to się stanie przedsiębiorstwo będzie musiało pokonać trudności napotkane podczas wdrażania w życie firmy złożonej filozofii. W zależności od obecnego stanu zarządzania przedsiębiorstwem,

nastawienia pracowników, sytuacji finansowej występujące problemy mogą być bardzo zróżnicowane.

I tak najczęściej spotykanymi problemami są:

- Oczekiwanie zadowalających wyników w zbyt krótkim czasie. Wprowadzenie założeń koncepcji Kaizen wymaga czasu. Skutki działalności powodują długotrwałe zmiany, jednak za względu na mały wkład finansowy i stopniowe postępowanie efekty nie są widoczne od razu. Dla przedsiębiorstw potrzebujących nagłej pomocy i agresywnego zarządzania ten problem może okazać się nie do pokonania.
- Nieodpowiednie podejście pracowników do przejawów filozofii. Nie okazują zainteresowania, nie angażują się wystarczająco
- w działalność przedsiębiorstwa. Kaizen przewiduje, że pracownik dzięki możliwości zaangażowania w zmiany poczuje większą swobodę działania i dobro przedsiębiorstwa zacznie utożsamiać z własnym dobrem.
- Zbyt duże oczekiwania wobec propozycji pracowników. Kaizen wyróżnia siłą wywodząca się z jego prostoty. Nieskomplikowane pomysły i proste zmiany są jednym z wielu małych kroków składających się na reorganizację systemu. Ta zasada często jest lekceważona i przełożeni nie doceniają zaangażowania, które przynosi drobne korzyści, oczekując wielkich zmian.
- Próba wprowadzenia wielu zmian w jednym czasie. Projekty należy realizować stopniowo, aby zapanować nad reformami. Kontrolować działalność pracowników i szybko wykrywać ewentualne błędy.
- Realizowanie tylko niektórych zasad- pełne efekty pozwoli uzyskać realizowanie wszystkich elementów, w przeciwnym wypadku zmiany mogą być niezadowalające.

6. Rachunek redukcji kosztów w metodzie Kaizen

Kaizen costing, czyli rachunek redukcji kosztów jest metodą rozporządzania kosztami. Przedsiębiorstwa w obecnej sytuacji gospodarczej starają się zminimalizować koszty funkcjonowania. Literatura przedmiotu pozwala wyróżnić dwa sposoby użycia rachunku redukcji kosztów:

1. Obejmuje wszystkie działania włączone, gdy minie czas trzech miesięcy od chwili wdrożenia nowego produktu lub usługi na rynek, jeśli nie uda się uzyskać założonego w ramach koncepcji Kaizen poziomu kosztów.
2. Obejmuje czynności podejmowane w sposób systematyczny i stały, aby osiągnąć założony poziom zysku oraz określoną redukcję kosztów.

Pierwszy sposób przewiduje trzymiesięczny etap przejściowy, który rozpoczyna się od razu po wprowadzeniu nowego produktu lub usługi na rynek. Ten czas ma pozwolić pracownikom zapoznać się z nowym procesem

i przyzwyczaić się do wytwarzania nowego produktu. Jeśli po upływie zaproponowanego trzymiesięcznego okresu koszty produkcji nie osiągną założonej wysokości, należy znaleźć strefy funkcjonowania, które mogą zostać poddane zmianom, w celu zredukowania kosztów. Te działania jest zazwyczaj uznawane jako dopełnienie rachunku kosztów docelowych, gdyż finalnym celem przy zaangażowaniu koncepcji Kaizen jest osiągnięcie zaplanowanego poziomu kosztów.

Działania podejmowane w ramach sposobu drugiego zdecydowanie bardziej odpowiadają założeniom rachunku ciągłego doskonalenia kosztów. Wszystkie kroki są tutaj podejmowane systematycznie, od razu od wprowadzenia produktu na rynek.

7. Zastosowanie metody Kaizen praktyce

Filozofia Kaizen została wprowadzona i z powodzeniem wykorzystana w działalności wielu globalnych przedsiębiorstw. Równocześnie także wdrożenie tej koncepcji zostało odnotowane w małych i średnich firmach, co ukazuje uniwersalność i elastyczność jej metod. Jedną z firm, w której opisywana filozofia została skutecznie wprowadzona jest *Daicel Safety Systems Europe Sp.z.o.o.* (DSSE). Firma ta zajmuje się produkcją napełniaczy do poduszek powietrznych. To japońskie przedsiębiorstwo posiadające oddziały na całym świecie, również w Polsce wdrożyło zasady Kaizen w roku 2007. Od tamtej pory organizacja stara się wprowadzić filozofię w każdą sferę działalności w sposób nieprzerwany i uporządkowany.

DSSE w swoim funkcjonowaniu korzysta także z zasady 3S [2].

Pierwsze „S” oznacza słowo *seri*, które tłumaczone jako sortowanie, segregacja. Reguła ta mówi o przeanalizowaniu narzędzi, przedmiotów, dokumentacji, z której korzystamy na miejscu pracy i zdecydowaniu, które z tych rzeczy są nam przydatne, a które są zbędne i mogą niepotrzebnie rozpraszać oraz usunięciu ich.

Seiton oznacza organizację własnej pracy i opiera się na solidnym uporządkowaniu. Zasada ta polega na przypisaniu stałego miejsca wszystkim niezbędnym narzędziom, przedmiotom i dokumentom używanych podczas pracy. *Seiso* oznaczające porządek, które polega na systematycznym sprzątaniu stanowiska roboczego.

Kolejna metoda wykorzystywana w przedsiębiorstwie polega na eliminacji marnotrawstwa. Filozofia *Kaizen* wyodrębnia 7 rodzajów strat. Mają one negatywny wpływ na sytuację przedsiębiorstwa i przyczyniają się do wytwarzania bezsensownych kosztów.



Rys. 2. Eliminacja marnotrawstwa zgodnie z zasadą 7 rodzajów strat [5]

Zgodnie z powyższą zasadą:

1. Nadprodukcja jest jedną z wyróżnionych strat. Polega ona na wytworzeniu z wyprzedzeniem większej ilości produktów na zapas. Wymaga to zagospodarowania większej przestrzeni magazynowej, co wiąże się z dodatkowymi kosztami.
2. Defekty – produkty, które nie spełniają zasad jakości mogą być wynikiem nieprawidłowo działającego sprzętu lub działaniu nieodpowiednio przeszkolonego personelu.
3. Niepotrzebny ruch – może powodować duże straty czasowe. Często jest spowodowany źle zaprojektowanym procesem lub nieprawidłowo przeszkolonymi pracownikami.
4. Zapasy – gromadzenie surowców, których przedsiębiorstwo nie jest w stanie wykorzystać. Powoduje to niepotrzebne wykorzystanie powierzchni magazynowej. Czas, w którym surowce będą przechowywane może wpłynąć negatywnie na ich jakość i być przyczyną powstania ukrytych niedoskonałości, które mogą uniemożliwić wykorzystanie surowców w późniejszym procesie produkcyjnym.
5. Zbędny transport – przenoszenie materiałów bez potrzeby, które może skutkować ich uszkodzeniem.

6. Powtarzanie – nieodpowiednie zaprojektowanie procesu może powodować konieczność wykonywania dodatkowych czynności.
7. Oczekiwanie – straty czasowe, kiedy to pracownik nie może wykonać pewnych czynności, z powodu awarii maszyn czy braku surowców.

Daicel Safety Systems Europe w swojej działalności wykorzystuje również zasadę, która pozwala na angażowanie pracowników w funkcjonowanie firmy. Zatrudniony może ujawniać swoje pomysły na usprawnienie funkcjonowania. Są one przyjmowane i realizowane w ramach programu „*Before-after*”. Polega on na charakterystyce stanu obecnego oraz problemów, które z niego wynikają, a także na opisie stanu przewidywanego po wprowadzeniu usprawnień. Część z propozycji zostaje realizowana w bardzo szybkim tempie. Te pomysły, które wymagają nakładu finansowego lub poparcia kierownictwa są analizowane przez komisję Kaizen. Program ten cieszy się dużym zainteresowaniem wśród pracowników przedsiębiorstwa.

Jednym z kolejnych rozwiązań przy wprowadzaniu filozofii jest klasyfikacja SQCD. Skupia się ona na 4 podstawowych filarach: bezpieczeństwie, jakości, dostawie i kosztach, bezpieczeństwo podczas produkcji, wysoka jakość wytwarzanych produktów oraz jakość wykonywanej pracy, transport komponentów oraz wprowadzenie idei oszczędności to działalności wprowadzone przez *DSSE*.

Przedsiębiorstwo wprowadziło również sposób rozwiązywania problemów przy pomocy cyklu CAPD. Jego wykorzystanie pozwala spojrzeć na problem w sposób systemowy. Polega on na identyfikacji trudności i ocenie obecnej sytuacji, poprzez obserwacje otoczenia oraz własnych działań. Kolejnym etapem jest znalezienie źródeł powstania problemu. Może istnieć jedno źródło powstających trudności, ale problem może być również bardziej złożony i jego całkowite rozwiązanie może być uwarunkowane przez odkrycie każdego z występujących źródeł. Kolejny krok polega na zorganizowaniu działań mających na celu rozwiązanie zidentyfikowanego problemu na podstawie zebranych informacji. Ostatni etap to wdrożenie zaplanowanych kroków, które mają spowodować stałe wyeliminowanie problemu i zapobieganie powstawania podobnych zdarzeń w przyszłości.

8. Podsumowanie

Metoda Kaizen jest prostą koncepcją coraz chętniej i częściej wykorzystywaną przez współczesne przedsiębiorstwa. Nie wymaga ona dużych nakładów finansowych, lecz zmiany myślenia i filozofii firmy. Jej zasadniczym założeniem jest wprowadzanie powolnych, sukcesywnych ale jednocześnie konkretnych rozwiązań, w celu doskonalenia różnych obszarów funkcjonowania

firmy. Dotyczy funkcjonowania zarówno dużych, świadomych organizacji, ale także małych firm, które odnajdują potrzebę zmiany, niewielkim nakładem. Wbrew wszystkiemu wielu menedżerów twierdzi, że metoda przynosi większe efekty, niż duże, bardziej kosztowne zmiany. Dużą rolę w sukcesie skutecznego systemu ciągłego doskonalenia odgrywa zwiększanie świadomości pracowników, nagradzanie dobrych praktyk oraz monitorowanie i weryfikowanie zachodzących w przedsiębiorstwie zmian. Zmian, które są nieuniknione w przedsiębiorstwach nastawionych na zysk, bo gdy przedsiębiorstwo przestaje się rozwijać to tak jakby zaczynało się cofać.

Literatura

- [1] Al- Noorachi M., *Koncepcja Kaizen czyli idea małych kroków i nisko kosztowych metod doskonalenia zarządzania rozwojem organizacji*, Przedsiębiorczość i Zarządzanie, 18(11), 2006, s. 99–107.
- [2] Bagiński J., Bratek T., *Kaizen: System produkcyjny Toyoty, metodyka Poka-Yoke oraz 5S*, Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Przemysłu Poligraficznego, Warszawa, 2012.
- [3] Brandolese A., *The problems of total quality*, Production Planning & Control, Jul-Aug, 1994, s. 330–336.
- [4] Gabryelewicz I., Gawłowicz P., Sadłowska-Wrzesińska J., *Kaizen jako skuteczna metoda wspomagająca efektywne zarządzanie przedsiębiorstwem*, Problemy Profesjologii, 2, 2015, s. 139–148.
- [5] Imai, M., *Gemba kaizen*, MT Biznes., Warszawa, 2006.
- [6] Imai, M., *Kaizen. Klucz do konkurencyjnego sukcesu Japonii*, MT Biznes, Warszawa, 2007.
- [7] Kolasińska-Morawska K., *Zarządzanie logistyczne – technologie i narzędzia*, Przedsiębiorczość i zarządzanie, tom XVII, z. 11, cz. 3, Wydawnictwo Społecznej Akademii Nauk, Łódź–Warszawa, 2016.
- [8] Kryś P., *Kaizen w przedsiębiorstwie*, Zeszyty Naukowe, 2016.
- [9] Mroczko F., *Zarządzanie Jakością*, Prace Naukowe WWSZiP, Wałbrzych, 2011, s. 299–305.
- [10] Nowak E., Piechota R., Wierziński M., *Rachunek Kosztów w zarządzaniu przedsiębiorstwem*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2004.
- [11] Papaj E., *Rachunek Ciągłego doskonalenia kosztów jako element koncepcji Lean Management*, Ekonomiczne zeszyty naukowe, 307, 2016, s. 74–93.
- [12] <http://www.daicelsse.com/kaizen,c35>, (dostęp 23.03.2020).

Klaudia NOWAK¹, Karol BUCZEK¹, Monika STOMA²

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

² Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ORCID:0000-0003-0404-699X

ZJAWISKO GALOPUJĄCEJ ROBOTYZACJI W PROCESACH PRODUKCYJNYCH

1. Wprowadzenie

Tempo oraz skala zmian otaczającego nas świata napędzają zarówno małe firmy, jak i przedsiębiorstwa międzynarodowe, do ciągłego ulepszania swojej oferty poprzez reorganizację wszystkich etapów działalności. Wprowadzanie nowoczesnych rozwiązań pomaga dogonić konkurencję lub nawet wybić się ponad wszystkich konkurentów. Robotyzacja procesów produkcyjnych jest jednym z najważniejszych elementów rozwoju organizacji. W dzisiejszych czasach może się ona okazać nie tylko pomocna, lecz niezbędna do stworzenia działalności lub do jej dalszego istnienia.

Jako robotyzację rozumiemy proces zmierzający do zastąpienia pracy ludzkich rąk pracą wykonywaną przez maszyny [1], [2]. Pamiętać przy tym należy, że przedsiębiorstwa nieustannie dążą do zmniejszenia kosztów produkcji przy jednoczesnej możliwości produkowania coraz większej ilości wyrobów o poprawionej jakości. Robotyzacja procesów jest więc metodą pozwalającą dokonać tych korzystnych zmian i wpłynąć na pozytywny rozwój organizacji.

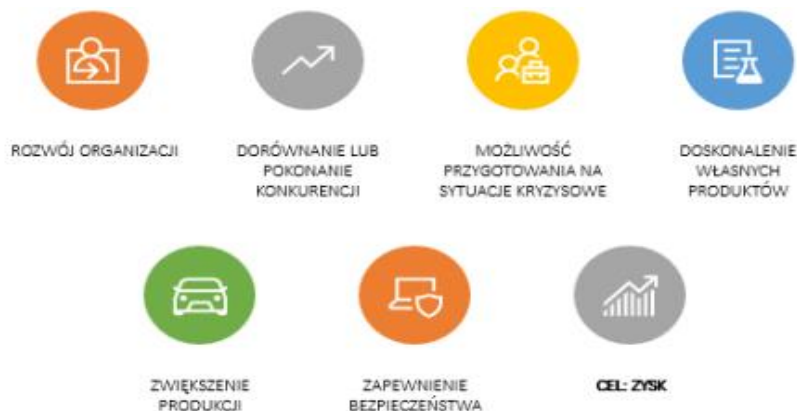
Zapotrzebowanie na roboty na świecie ciągle rośnie; maszyny coraz częściej usprawniają, a niejednokrotnie nawet wypierają pracę ludzkich rąk. Najczęściej zastępują one człowieka na stanowiskach, na których wymaga się dużej dokładności, ale również na stanowiskach niebezpiecznych, zagrażających życiu, monotonnych lub w inny sposób problematycznych.

Stąd też, celem pracy jest przedstawienie sytuacji dynamicznego rozwoju rynku robotów na świecie z uwzględnieniem wad i zalet, jakie wynikają z wdrożenia omawianych rozwiązań.

2. Przyczyny robotyzacji

Jak już wspomniano, organizacje – w przeważającej części – dążą do ciągłego rozwoju. Jest to niejednokrotnie jedyna możliwość, aby trzymać się na

ciągle i dynamicznie zmieniającym się rynku. Świat się zmienia, zmieniają się wymagania konsumentów, pojawiają się nowe możliwości i nowe sposoby produkcji. Robotyzacja jest procesem, który stawia na rozwój przedsiębiorstwa na wielu płaszczyznach, co przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Główne przyczyny robotyzacji [3]

Na ogólnie rozumiany rozwój składa się wiele elementów. Jednym z nich jest właśnie zwiększenie możliwości produkcyjnych. Chęć produkowania większej ilości wyrobów w jak krótszym czasie jest jedną z przyczyn wprowadzenia robotów przemysłowych do własnych działów produkcji. Przedsiębiorstwo obserwując sytuację na rynku i działanie konkurencji stara się jej dorównać lub znaleźć rozwiązania nowocześniejsze i korzystniejsze. W tym wypadku zastosowanie maszyn również okazuje się niezbędne, gdyż praca i osiągnięcia największych globalnych przedsiębiorstw bez zastosowania robotyzacji byłyby niemożliwe.

Współczesne roboty mogą pracować w sposób ciągły i nieprzerwany, wytwarzając przedmioty identyczne, o nienagannej jakości. Natomiast praca człowieka uzależniona jest od wielu wewnętrznych i zewnętrznych czynników, które mogą mieć niekorzystny wpływ na efekt końcowy produkcji. Pora pracy, sytuacja prywatna, choroba to nieliczne z okoliczności, które wpływają negatywnie na pracowników, poziom ich zaangażowania oraz dokładność wykonywanych czynności. Wszystkie te problemy stają się nieważne, gdy pracę rąk ludzkich zastępuje robot [4].

Kolejna przyczyna robotyzacji również bezpośrednio wiąże się z pracą człowieka. Jeśli pracownik nie pojawi się w miejscu pracy, nie będzie konieczne zmniejszenie ilości produkcyjnych. Gdyby przedsiębiorstwo nie korzystało z możliwości robotów, to wówczas nieobecność kilku pracowników byłaby sytuacją kryzysową i mogłaby spowodować nawet zatrzymanie produkcji na pewien okres czasu.

Roboty przemysłowe pozwalają ponadto na pracę bez przerwy; powoduje to zminimalizowanie lub całkowite wyeliminowanie strat między poszczególnymi etapami produkcji. Zmniejszenie marnotrawstwa i zaoszczędzenie czasu pozwalają w konsekwencji lepiej przygotować się na ewentualne sytuacje kryzysowe, gdyż możliwe jest przygotowanie pewnej ilości produktów na zapas. Wszystkie te powody składają się na jeden najważniejszy cel przedsiębiorstwa produkcyjnego, jakim jest osiągnięcie jak największego zysku.

3. Wady i zalety robotyzacji

W dzisiejszych czasach wprowadzenie robotyzacji w działalność większości przedsiębiorstw na całym świecie jest nieunikniona. To rozwiązanie, jak każde inne posiada swoje mocne i słabe strony. Do najczęściej wskazywanych wad związanych z wprowadzeniem robotyzacji zaliczyć można (Rys. 2) [2]:

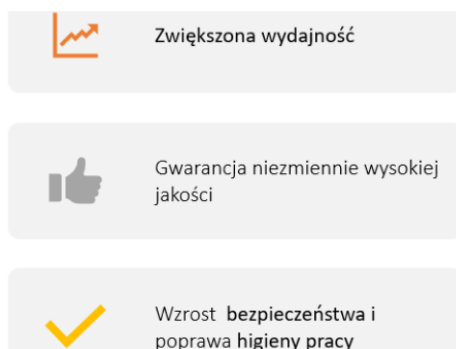
- wysokie koszty związane z zakupem i instalacją robotów przemysłowych;
- w przypadku błędnego oszacowania wielkości rynku możliwości produkcyjne maszyn mogą nie zostać wykorzystane, co również będzie generować duże straty;
- nakłady przeznaczone na robotyzację mogą się nie zwrócić, gdy produkt, do którego wytwarzania była przeznaczona maszyna przestaje się sprzedawać. W takiej sytuacji produkcja zostaje zatrzymana, a robot przemysłowy staje się bezużyteczny;
- z perspektywy społeczeństwa taka sytuacja może okazać się kłopotliwa, gdyż coraz większa ilość miejsc pracy zostaje zlikwidowana. Zadania, które wcześniej wykonywał człowiek dzisiaj może wykonać robot.



Rys. 2. Wady robotyzacji [2]

Jednakże robotyzacja procesów przemysłowych niesie ze sobą również wiele korzyści. Wymienić wśród nich można m.in. [5]:

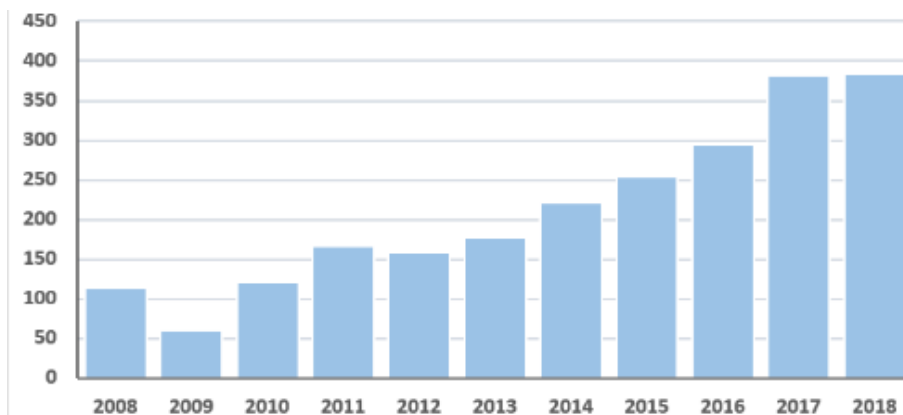
- zwiększoną wydajność produkcji – maszyna w krótszym czasie jest w stanie wytworzyć większą ilość produktu, niż byłoby to możliwe przy pracy ludzkich rąk;
- wytworzone przy użyciu robotów produkty dają wysoką gwarancję niezmiennej i oczekiwanej jakości; sytuacje, w których precyzja jest bardzo ważna wymagają zastosowania maszyn, które niezależnie od pory dnia działają ze starannością;
- wpływ na zwiększenie bezpieczeństwa i poprawę higieny pracy. Jest to jeden z najważniejszych powodów, nie tylko ze względu na pracodawcę, ale również pracownika. Kadra na stanowiskach zarządzających często dąży do zmniejszenia niekorzystnego wpływu szkodliwych warunków pracy. Powodem tego są również aspekty ekonomiczne – zadania wypełniane przez pracowników w środowisku problematycznym wyróżniają się bowiem niejednokrotnie zmniejszoną starannością i efektywnością, a wszelkie rozwiązania zabezpieczające przed niebezpiecznym wpływem środowiska pracy dodatkowo jeszcze zmniejszają wydajność pracowników. Pamiętać należy, iż najważniejszym aspektem dla wykonujących zlecone zadania jest dbanie o własne bezpieczeństwo i ochrona zdrowia. Jakość oraz tempo realizowanych czynności schodzą na dalszy plan. Dlatego też, wykorzystanie robotów przemysłowych pozwala zminimalizować lub całkowicie usunąć tę problematyczną perspektywę. Roboty mogą przejąć obowiązki pracowników na stanowiskach zagrażających zdrowiu lub nawet życiu człowieka. Maszyny mogą również wykonywać zadania związane z transportowaniem i układaniem przedmiotów ciężkich, o dużych gabarytach. Roboty przemysłowe są bowiem zdolne do pracy z produktami o bardzo dużej masie, która dla człowieka może być trudna lub nawet niemożliwa do wykonania [6].



Rys. 3. Zalety robotyzacji [5]

4. Zaawansowanie robotyzacji na świecie

Na rynku światowym obserwujemy orientację wzrostową zapotrzebowania na roboty wykorzystywane w przemyśle, co przedstawiono na rysunku 4.

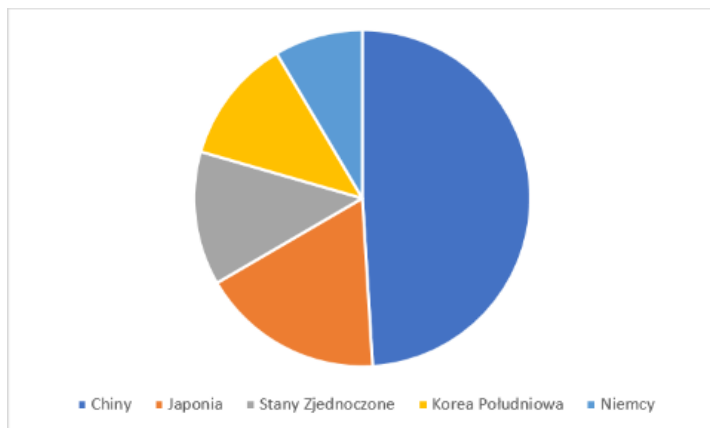


Rys. 4. Sprzedaż robotów przemysłowych na świecie w latach 2008–2018 [7]

Wpływ na zmiany popytu ma ciągle zmieniająca się sytuacja gospodarcza na świecie lub tylko w konkretnych jego regionach. Orientacja sprzedaży może się gwałtownie zmieniać, gdy na rynku występuje sytuacja kryzysowa. Tak stało się m.in. w roku 2009, kiedy to zaobserwowano nagły spadek sprzedaży robotów przemysłowych. Rok później nastąpił powrót ilości zbliżonych do kilku ostatnich lat. W kolejnych latach sprzedaż stopniowo rosła, niewielki spadek został odnotowany jedynie w roku w 2012, natomiast w roku 2017 pojawił się dynamiczniejszy wzrost. Jak wynika z dostępnych danych rokiem, w którym została osiągnięta największa światowa sprzedaż robotów przemysłowych był rok 2018, jednak tendencja wzrostowa względem roku poprzedniego była niewielka, gdyż globalna sprzedaż wzrosła tylko o 2 tys. sztuk. Dla porównania, różnica między ilością robotów sprzedanych w 2016, a ilością w 2017 roku wyniosła 88 tys. sztuk.

Obecnie popyt na roboty przemysłowe występuje na całym świecie. Istnieją jednak miejsca, w których jest on szczególnie wysoki. Największe zapotrzebowanie generuje rynek azjatycki, jednak widoczna jest w nim zaskakująca stagnacja. Wzrost względem roku poprzedniego jest niewielki. Mimo tych niekorzystnych obserwacji Azja nadal wyróżnia się na tle konkurentów, gdyż 2 z 3 nowo wdrożonych robotów zostało zainstalowanych właśnie w Azji. Następna w kolejności jest Europa, później Ameryka. Te obszary świata wyróżniają się z kolei dynamicznym wzrostem w porównaniu do lat ubiegłych. W Europie zaobserwowano bowiem wzrost o 14%, natomiast w obu Amerykach wynosił on aż 20%.

Aż 75% instalacji robotów przemysłowych zaobserwować można w 5 dominujących krajach: Chiny, Japonia, Stany Zjednoczone, Korea Południowa i Niemcy (Rys. 5).



Rys. 5. Główne rynki robotów przemysłowych [7]

Chiny są wiodącym rynkiem robotów przemysłowych na całym świecie. 36% wszystkich robotów w 2018 r. zostało zakupionych właśnie w Chinach – 154.032 roboty. Wynik ten jest o 1% niższy od wyniku z roku 2017 r., ale wciąż jest to więcej niż liczba zamontowanych robotów w obu Amerykach i Europie łącznie. W 2018 r. liczba robotów zainstalowanych w Japonii wzrosła o 21% do ilości 55.240 sztuk, co okazało się nowym rekordem dla tego państwa. Dodać należy, iż kraj ten wyróżnia się wysokim poziomem automatyzacji w produkcji przemysłowej.

Stany Zjednoczone w roku 2018 po raz kolejny zwiększyły przyrost liczby robotów w porównaniu do roku poprzedniego; był to wzrost na poziomie 22%. Tym razem wartość wyniosła 40.373 jednostki. Z kolei w Korei Południowej spada roczna suma instalacji robotów. W 2018 r. zamontowano tam bowiem 37.807 sztuk (co oznacza -5% w stosunku do poprzedniego roku). Wpływ na taką sytuację miał ciężki rok przemysłu elektronicznego, który w znacznym stopniu zmniejszył zapotrzebowanie na roboty przemysłowe.

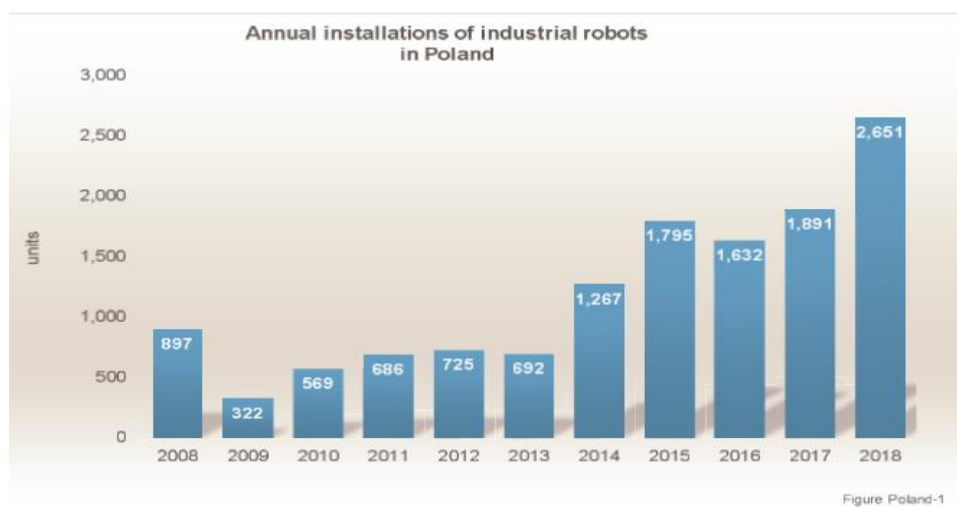
Piątym co do wielkości globalnym rynkiem robotów są Niemcy. W roku 2018 ilość zakupionych robotów wzrosła tam o 26% do wartości 26.723 sztuk. Największe zapotrzebowanie na roboty przemysłowe w tym kraju wykazuje przemysł motoryzacyjny.

Wspomniany przemysł motoryzacyjny jest również branżą generującą największą liczbę klientów na całym świecie; pozostawia inne sektory w tyle. Właśnie ten sektor wykorzystuje 30% wszystkich światowych instalacji robotów przemysłowych. Drugim co do znaczenia sektorem jest przemysł elektryczny i elektroniczny. Udział tego obszaru w sprzedaży globalnej wyniósł

25%. Następną w kolejności jest produkcja wyrobów metalowych oraz przemysł maszynowy, osiągając 10% światowej produkcji. Ilość robotów przemysłowych zainstalowanych dla przemysłu spożywczego wyniosła 3%. Nie ma natomiast dostępnych informacji w jakiej branży są wykorzystywane pozostałe zakupione roboty.

5. Roboty przemysłowe w Polsce

Ilość robotów instalowanych w Polsce stale rośnie, co zaprezentowano na rysunku 6.



Rys. 6. Roczne instalacje robotów przemysłowych w Polsce [9]

Wynik z roku 2018 pozwolił Polsce osiągnąć 16 miejsce na świecie, przy wyniku 2.651 zakupionych urządzeń [8]. Wynik ten jest zaskakujący, gdyż w porównaniu z rokiem poprzednim wzrósł aż o 40%. Mówi się o najlepszym roku w historii krajowego przemysłu. Liczby te jednak są wciąż niewielkie w porównaniu z wynikami, jakie osiągają gospodarki przodujące w dziedzinie automatyzacji i robotyzacji procesów.

Jak można zauważyć również na rysunku nr 6 polski rynek robotów przemysłowych od roku 2014 rozwija się dość intensywnie. W tym i każdym kolejnym roku ilość nowych instalacji przekroczyła bowiem 1000 szt. Jak już wspomniano, w 2018 wartość ta była zaskakująco wysoka. Dodać należy, iż suma wszystkich robotów przemysłowych zainstalowanych na terenie Polski do końca 2018 roku wyniosła 13.600 sztuk.

Tendencja wzrostowa jest zauważalna nie tylko w największych polskich przedsiębiorstwach, ale także w firmach średnich oraz małych. Daje to optymistyczne prognozy na kolejne lata, gdyż ich działalność może mieć pozytywny wpływ na dynamiczny wzrost robotyzacji w naszym kraju. Producenci w Polsce w 2018 roku najczęściej korzystali z robotów przemysłowych wykorzystywanych w transporcie i obsłudze maszyn, a także tych używanych podczas spawania i lutowania. Wsparcie robotów w procesie produkcyjnym jest szczególnie zauważalne również w sektorze motoryzacyjnym.

6. Zadania robotów przemysłowych

Jak już wcześniej wspomniano, roboty przemysłowe znajdują swoje zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu. W każdym z sektorów spełniają określone funkcje i są wykorzystywane do wykonywania rozmaitych zadań.

Czynności jakie mogą wykonywać roboty przemysłowe to m.in. [10], [11]:

- łączenie elementów (spawanie, lutowanie, zgrzewanie, klejenie),
- paletyzacja,
- obsługa maszyn,
- lakierowanie i malowanie,
- cięcie i obróbka mechaniczna,
- inżynieria odwrotna, metrologia.

Jedną z podstawowych funkcji robotów jest ich wykorzystywanie podczas łączenia elementów przy użyciu różnych metod. Roboty przemysłowe szczególne zastosowanie znajdują podczas operacji spawania (Rys. 7), lutowania, zgrzewania i klejenia [4]. Współpraca postępowych metod w dziedzinie spawania oraz robotów przemysłowych umożliwia scalanie elementów powstałych z różnych surowców z precyzją, która może być niemożliwa do osiągnięcia przy użyciu standardowych rozwiązań. Ceny robotów spawalniczych znacząco spadają, co za tym idzie zwiększa się ich dostępność. Na chwilę obecną nawet małe przedsiębiorstwa mogą sobie pozwolić na ich zakup. Zrobotyzowane spawanie staje się więc z jednej strony korzystne finansowo, a z drugiej – pozwala uzyskać dużą dokładność działania.

Roboty przemysłowe są również wykorzystywane do rozwoju linii pras. Robotyzacja tej strefy pozwala odsunąć pracowników z miejsca zagrożenia wypadkiem, dyskomfortu spowodowanego hałasem czy drganiami. Pozwala to również na zwiększenie wydajności i wykluczenie marnotrawstwa spowodowanego wykonywaniem niepotrzebnych czynności. Działalność robotów na tym etapie pozwala ponadto uzyskać określony, powtarzalny kształt wyrobów. W sytuacji, gdy materiał, z którego wytwarzany jest dany produkt

jest elastyczny i nieszttywny, możliwe jest programowanie prędkości, przyspieszenie działalności maszyny i uzyskanie zamierzonego efektu.



Rys. 7 Robot Kawasaki FA006E z pozycjonerem dwuosiowym wykorzystywany w technologii zrobotyzowanego spawania [12]

7. Podsumowanie

Wymagania dzisiejszego rynku wymuszają na przedsiębiorstwach zastosowanie nowocześniejszych rozwiązań, technik działania, a także maszyn i urządzeń. Robotyzacja procesów produkcyjnych staje się zatem zjawiskiem nieuniknionym. Potwierdzają to również różne prognozy, które pokazują ciągły wzrost ilości instalowanych robotów przemysłowych w różnych dziedzinach i obszarach gospodarki.

Robotyzacja, pomimo posiadania pewnych wad, z perspektywy przedsiębiorstwa jest zjawiskiem zdecydowanie korzystnym. Gospodarki na całym świecie odnotowują bowiem wzrost swojej potęgi przede wszystkim przy użyciu na dużą skalę robotów przemysłowych. Szerokie zastosowanie, możliwości dostosowania do każdej dziedziny użytkowej, wzrost bezpieczeństwa to jedne z nielicznych zalet, które niesie za sobą robotyzacja. Na ten moment rozwój organizacji bez użycia maszyn prawdopodobnie byłby niemożliwy. Duża konkurencja, która proponuje coraz to nowe rozwiązania i wytwarza wiele różnorodnych produktów w krótkim czasie, swoją działalnością może przytłoczyć tych, którzy nie będą w stanie jej dorównać.

Jest więc pewne, że robotyzacja staje się zjawiskiem, które w najbliższych latach nie zaniknie, a wręcz przeciwnie – będzie się ona ciągle rozwijać i zaskakiwać nowymi pomysłami.

Literatura

- [1] Gupta A. K., Arora S. K., *Industrial Automation and Robotics*, Laxmi Publications (P) Ltd, 2008.
- [2] Kardasz P., *Współczesna automatyzacja i robotyzacja a człowiek*, Biuletyn Naukowy Wrocławskiej Wyższej Szkoły Informatyki Stosowanej. Informatyka, vol. 7, nr 2, 2017, s. 25–27.
- [3] Łapiński K., Peterlik M., Wyżnikiewicz B., *Wpływ robotyzacji na konkurencyjność polskich przedsiębiorstw*, Instytut Badań nad Gospodarką Rynkową, Warszawa, 2015.
- [4] Kampa A. *Ekonomiczne uwarunkowania robotyzacji procesów produkcyjnych*, Zarządzanie Przedsiębiorstwem, nr 3, 2014, s. 27–33.
- [5] Kaczmarek W., Panasiuk J., *Wykorzystanie robotów przemysłowych w wybranych aplikacjach*, Napędy i Sterowanie, r. 21, nr 2, 2019, s. 48–51.
- [6] Kost G., Łebkowski P., Węsierski Ł., *Automatyzacja i robotyzacja procesów produkcyjnych*. Zarządzanie i Inżynieria Produkcji. PWE, Warszawa, 2014.
- [7] Dane Międzynarodowej Federacji Robotyzacji, Executive Summary World Robotics 2019 Industrial Robots, lata 2008-2018, <https://ifr.org/downloads/press2018/Executive%20Summary%20WR%202019%20Industrial%20Robots.pdf> (dostęp 01.03.2020 r.).
- [8] Kulik J., Wojtczak Ł., *Światowe trendy robotyki, a wyzwania technologiczne polskich MŚP*, Pomiary Automatyka Robotyka, r. 19, nr 4, 2015, s. 79–86.
- [9] <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/rekordowe-2651-nowych-robotow-w-polskim-przemysle/> (dostęp 02.03.2020 r.)
- [10] Józwik J., Ostrowski D., *Wybrane problemy badawcze robotów przemysłowych*, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin, 2016.
- [11] Dobrzański P., *Wykorzystanie robotów w procesach logistycznych*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Organizacja i Zarządzanie 9, 2016, s. 77–88.
- [12] <https://www.elektroonline.pl/a/6933,Zrobotyzowane-spawanie-przeglad-aktualnych-rozwiazan> (dostęp 02.03.2020 r.).

Oleksandr PARFENIUK, Oleksandr NAUMCHUK, Bogdan SYDORCHUK

National University of Water and Environmental Engineering

APPLICATION OF NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES IN AN AUTOMATED SYSTEM FOR MONITORING THE FLOW RATE OF OIL PRODUCTS

1. Introduction

The main means of oil transportation nowadays is pipeline transportation. Compared to other means, it has a number of undeniable advantages: the possibility of laying in almost any area, high pumping capacity, process continuity, high level of automation, environmental friendliness. Leak Detection System (LDS) – automated information system designed to control the integrity of the pipeline. The key element in this system is the measurement of oil products flow.

2. Leak Detection System

One of the most common LDS is parametric one (Fig. 1). The oil pipeline is divided into several control sections of the pipeline, where flow meters and pressure and temperature sensors are installed. Leak detection systems are based on the «pressure-flow» method and mass balance method. When applying the «pressure-flow» method, the measured values of pressure and flow in the pipeline are compared with the values calculated by means of a mathematical model for a pipeline section. The essence of the mass balance method is to compare the readings of flowmeters installed at the inlet and outlet of each section of the pipeline. There are strict requirements for measurement errors in the used flow meters, as this directly affects the performance of the entire system. In practice, there are a number of factors that prevent such requirements from being met.

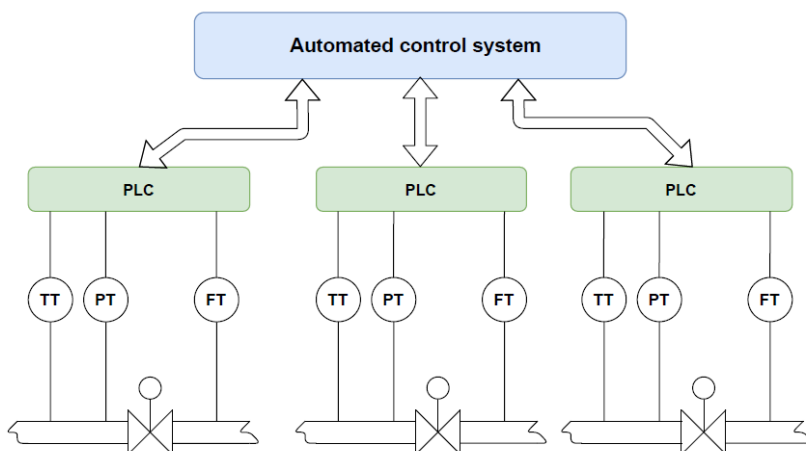


Fig. 1. Scheme of the parametric leak detection system: PLC – programmable logic controller

3. Simplified pumping station scheme

Let's consider a simplified scheme of a typical oil pumping station (Fig. 2). The oil pumping station consists of pumping unit and a pressure control unit, antifriction additive block box and oil quality control unit are connected at the outlet of Oil Pumping Station. Antifriction additive (AFA) – special additive which is pumped into the pipeline during oil transportation. The main purpose of AFA is to reduce turbulence along pipeline walls to reduce hydraulic resistance.

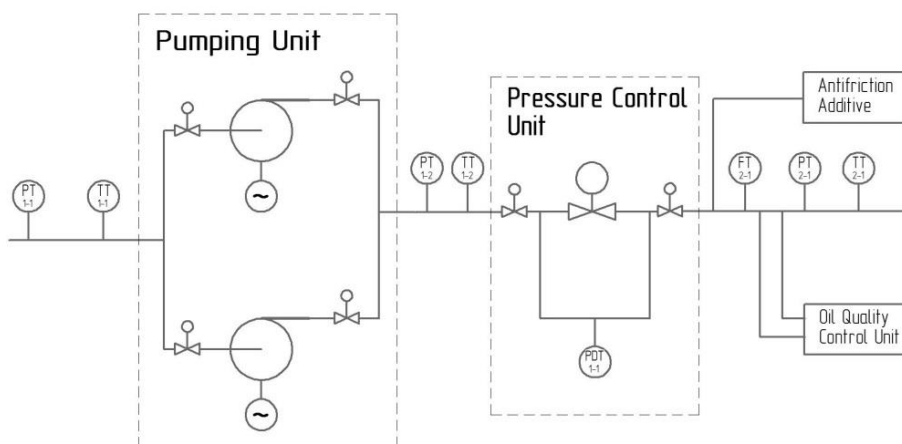


Fig. 2. Simplified pumping station scheme

The following technological parameters are monitored:

- PT 1-1, PT 1-2 – inlet/outlet pressure of Pumping Unit;
- TT 1-1, TT 1-2 – inlet/outlet temperature of Pumping Unit;
- PT 2-1 – outlet pressure of Pressure Control Unit;
- PDT 1-1 – pressure difference of Pressure Control Unit;
- TT 2-1 – outlet temperature of Oil Pumping Station;
- FT 2-1 – outlet flow rate of Oil Pumping Station;
- Opening percent of Pressure Control Unit;
- shut-off valve statuses of Oil Pumping Station i pumps;
- flow rate of antifriction additive;
- parameters measured in Oil quality control unit (density, viscosity, temperature, pressure).

After studying the different flowmeters, we concluded that the most optimal flowmeter for our system is an ultrasonic flowmeter, which has a number advantages compared to others.

4. Ultrasonic flowmeter

At the present time it is important to improve oil flow measurement instruments. One of the most promising in this direction is ultrasonic method of control, especially given the characteristics of accuracy and reliability of measuring equipment [1].

Ultrasonic flow meters are used to determine the flow rate in large diameter pipelines, as they can provide non-contact measurement, do not create local resistance, do not prevent the passage of diagnostic and cleaning devices in the pipeline. Ultrasonic flow meters and counters are based on the time-pulse principle, the essence of which is to determine the difference in velocity of ultrasonic probing pulses passing in the direction of the flow and against it.

Sensors of ultrasonic flowmeters by type of installation on the pipeline are divided into mortise and surface. The mortise sensors (Fig. 3) are placed directly in the wall of the pipeline and surface sensors are installed over the pipeline (Fig. 4).

Let's consider the characteristics and operation features of these flowmeters. Installation place of the ultrasonic flowmeters determines the mode of the measured flow termination. To ensure the laminar flow, a straight line section is selected – usually a section of at least 10 pipeline diameters to the flowmeter's installation site and 5 diameters – after the installation site [2].

When operating the sensors, incorrect operation, increased measurement error or failure can occur. Reasons can be different. Given the peculiarities of the pipeline, it is not always possible to meet the conditions for selecting a straight

section, which leads to unstable operation of the device from the very beginning of operation. After a certain amount of time, the surface of the pipeline is contaminated and the contact lubricant layer of the surface sensor must be replaced. For mortise sensors, wax deposits on pipeline walls are a negative factor. As a result, there is an increase in the error of information processing.

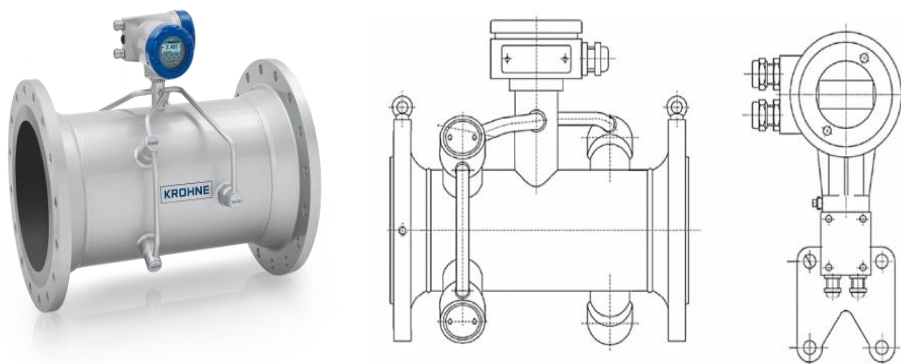


Fig. 3. Ultrasonic flowmeter with mortise sensors [8]

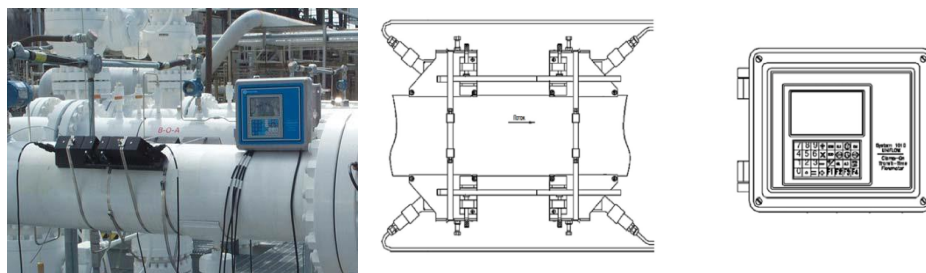


Fig. 4. Ultrasonic flowmeter with surface sensors [8]

5. Simplified pumping station scheme

In the course of the research the structure of the measurement system of oil products flow rate was developed. It is designed to reflect the general structure of the model, i.e. its main blocks and main links between them (Fig. 5).

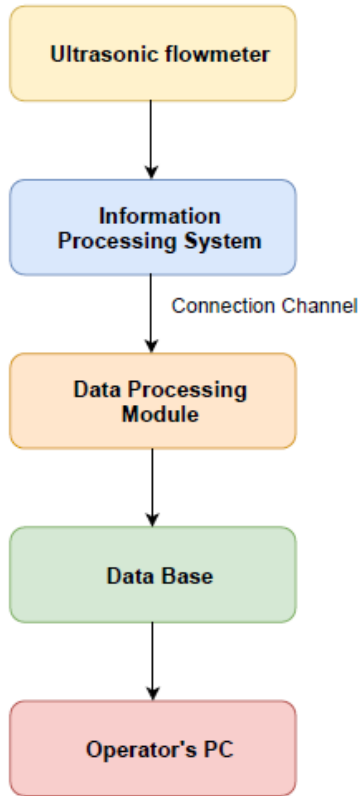


Fig. 5. Structure of the measurement system of the oil product flow rate

To represent the system in the process of design and development it is necessary to model it. The most universal method of modelling is UML as it allows to analyse accurately structure of system and its work. A UML-diagram (Fig. 6) of usage options of oil flow rate measurement system was developed. The use case diagrams describe the relationships between groups of use case and actors (actors) who take part in the process.

The oil flow rate control system has a significant number of actors interacting with the system through use options:

- Operator – person who has access to the system functionality analyzes data from sensors and is engaged in forming and creating a report for the system.
- Ultrasonic flowmeter – a device that measures the flow rate of liquids and gases.
- Data Base is a data warehouse with reports on oil product flow rate.
- Administrator – the person responsible for setting the parameters of the oil flow rate control system.

- Neural Network – this is where the signal is identified.
- Etalon flow data – the data is recorded in the data base, on which the comparison is made and deviations are detected.

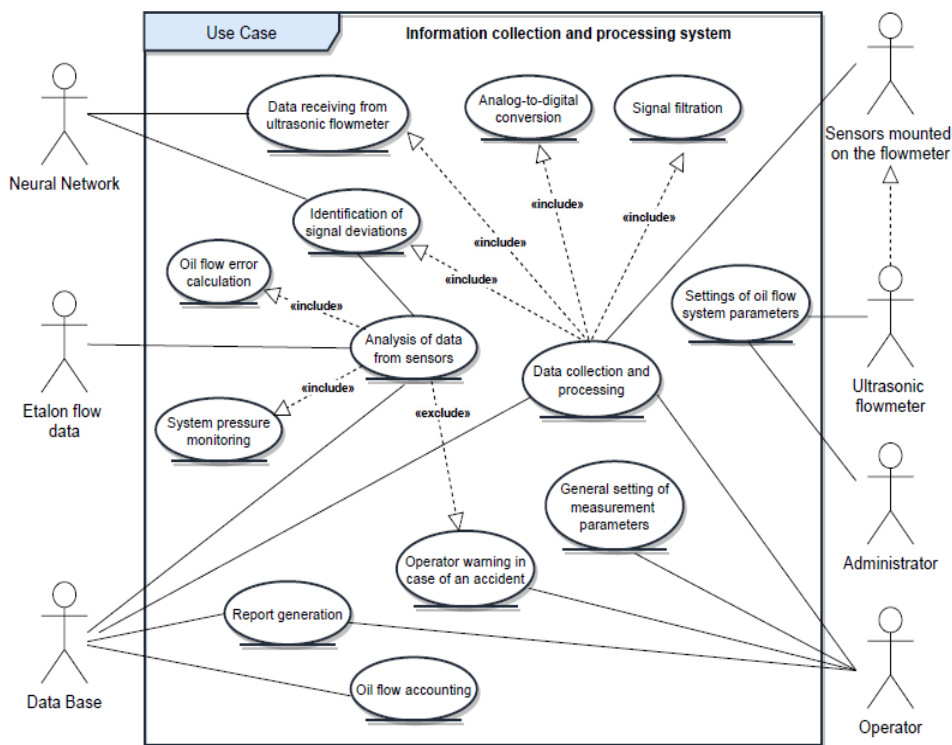


Fig. 6. Diagram of usage options (Use Case)

6. The concept of a virtual flowmeter

The purpose of this study is to create a diagnostic system for ultrasonic flowmeters and to duplicate oil flow rate measurement in the main pipeline. To solve the problems associated with the operation of ultrasonic flowmeters, we offer the use of a system that would allow not only to diagnose, but also duplicate the readings of the flowmeter in case of failure of the device or its withdrawal from service during scheduled maintenance or repair. In the English literature the system data are described as soft sensor/virtual sensor. [3].

When we talk about a measuring instrument, we assume that we are talking about measuring instruments or converters such as thermometers or pressure converters. However, it is possible to implement measuring instruments that use

only information and exist only in software form. Virtual sensor is a mathematical calculation or processing of data coming from technical measuring instruments in real time or the results of experiments or analyses carried out under laboratory conditions.

Most virtual sensors are based on the calculation of linear equations, but technologies with fuzzy logic and neural networks are increasingly being introduced. The increased performance of modern computing machines allows to create measurement systems that provide real-time data that were previously calculated manually by a specialist.

In a source [4] the basic directions of application of virtual sensors are stated. Firstly, technical requirements are imposed on each measuring instrument, which determine the features of its design (without limitation of its technical improvement) in order to preserve its metrological characteristics during the operation of measuring instruments, to achieve the reliability of the measurement result, to prevent unauthorized tuning and interference, as well as requirements that ensure the safety and electromagnetic compatibility of measuring instruments. The virtual sensor can become the solution of the problem of technological parameter determination in such a situation.

Secondly, virtual sensors can be used to duplicate measuring instruments during scheduled maintenance or repair of the latter. Switching can be implemented if the signal from the instrument is lost.

Thirdly, virtual sensors can be used to diagnose equipment operation by comparing signals from virtual sensors and existing devices.

And fourthly, the use of virtual sensors can reduce financial costs by reducing the number of technical measuring instruments.

Thus, it can be concluded that it is reasonable to use a virtual flowmeter. To solve the problem of oil products flow rate it is proposed to introduce a flow measurement system based on historical data of the transportation process.

There are three main approaches to creating a virtual flowmeter: physical modeling, multidimensional statistics and the use of artificial intelligence elements (neural networks, fuzzy logic and hybrid methods) [3]. Physical modelling often does not allow to consider external influence on model because not all parameters of system can be measured. The multivariate statistics does not allow to estimate settlement value at input parameters which have not been fixed earlier [5]. Thus, the work of the given system of definition of parameters is based on application of a neural network which input data will be the parameters interconnected with it.

7. Neural network

Most neural networks are organized in layers that consist of several interconnected nodes containing an activation function. The information is fed to the input layer associated with one or more hidden layers, where data is processed through a weighted link system. The hidden layers are in turn connected to the source layer where the neural network response is displayed [6], [7].

The flow rate in the pipeline is assumed to be calculated using the following method. Data from the following converters will be used as input parameters to the neural network (Fig. 7):

- outlet pressure of Pumping Unit;
- outlet temperature of Pumping Unit;
- outlet pressure of Pressure Control Unit;
- pressure difference of Pressure Control Unit;
- outlet temperature of Oil Pumping Station;
- opening percent of Pressure Control Unit;
- flow rate of antifriction additive;
- parameters measured in Oil quality control unit (density, viscosity, etc).

The flow rate at the output of the Oil Pumping Station is taken as a control parameter for teaching the neural network. Figure 7 shows the number of hidden layers conditionally. On the basis of experimental data in the MATLAB NNTool environment, a model of the neural network for measuring oil flow rate was constructed. To check the adequacy of the model, the data set of experimental data accumulated during two days was used. Oil density, viscosity and temperature are constant. The result of the simulation is shown in figure 8.

According to the calculation, the relative error of oil flow rate measurement of the obtained model by the flowmeter FT 2-1, installed at the outlet of the Oil Pumping Station, was 5.6%.

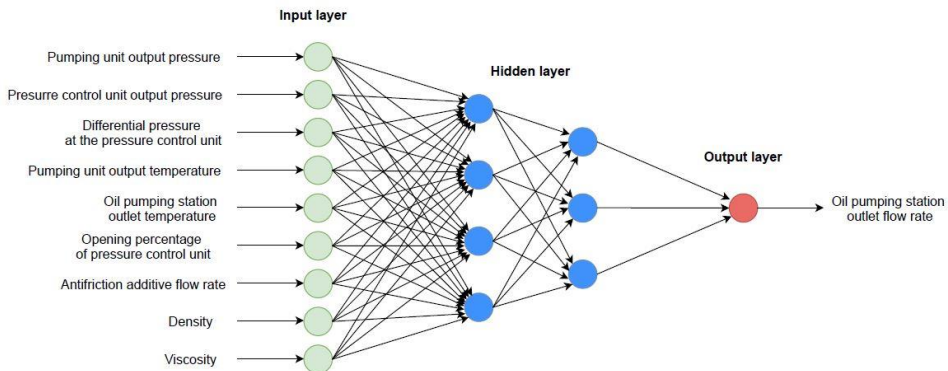


Fig. 7. Neural network for oil flow rate measurement

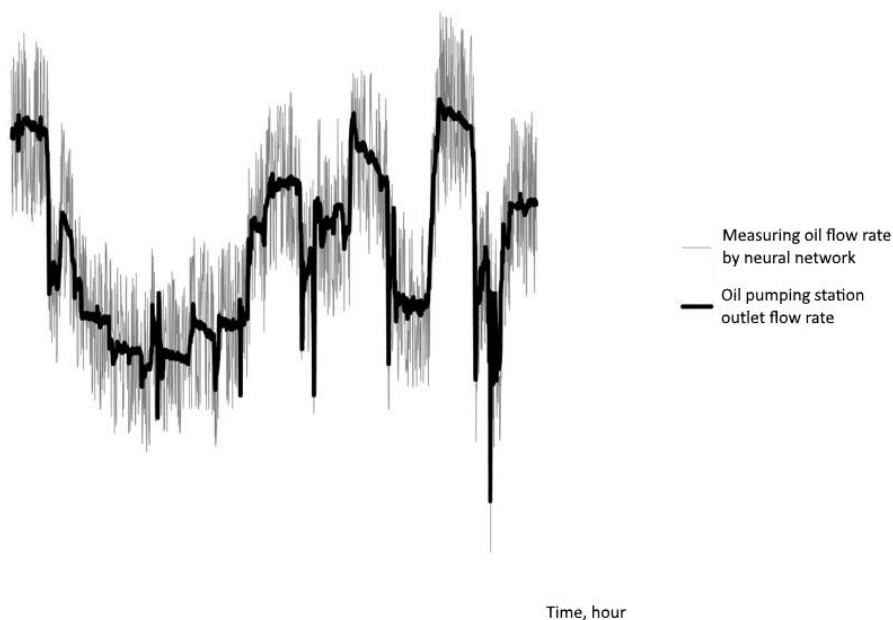
Flow rate m³/hour

Fig. 8. Comparison of flowmeter and neural network readings

7. Conclusions

Application of the neural network allows to create a mathematical model of oil flow measurement in the main oil pipeline, which does not depend on uncontrolled parameters. Implementation of this neural network will solve the problem of artificial generation of signals from ultrasonic flowmeter for the time of its decommissioning. At this stage it has been established that the neural network allows to calculate the oil flow rate by parameters of the technological process of transportation by pipelines. Additional research is needed to improve the accuracy of this model and to check its performance in real time.

References

- [1] Kremlevskii P. P., *Flow meters and substance counters*. Book ½, St. Petersburg, Polytechnic Institute 2002.
- [2] System 1010DVN. Stationary Ultrasonic Multifunctional Flowmeter: Instructions in operation Combit, 2007.
- [3] Fortuna L., Graziani S., Rizzo A., Xibilia M. G., *Soft Sensors for Monitoring and Control of Industrial Processes*, Springer, 2007.
- [4] Liptak B., *Instrument Engineers 'Handbook*. Vol. 1: *Process Measurement and Analysis*, CRC Press, 2003.
- [5] Lanasa P. J., Upp E. L. *Fluid Flow Measurement*. Elsevier Inc., 2014.
- [6] Kim Ph., *MATLAB Deep Learning*, Apress, 2017.
- [7] Khaikin S., *Neural networks: full course*, M.: Publishing. Williams House, 2006.
- [8] <https://ua.krohne.com/ru/pribory/izmerenie-raskhoda/raskhodomery/ultrazvukovye-raskhodomery/>. (2020.04.05)

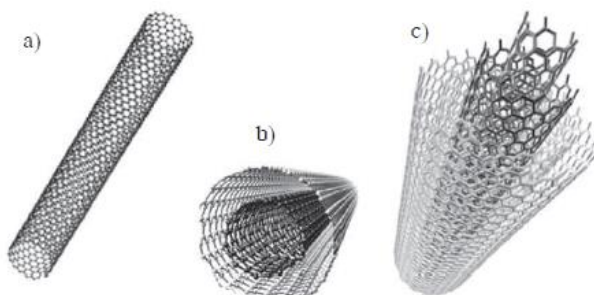
Paulina PŁONKA

Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Inżynieria Biomedyczna

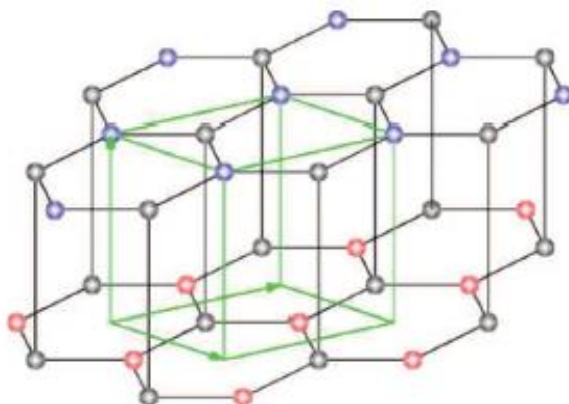
BADANIA TOKSYCZNOŚCI NANOSTRUKTUR WĘGLOWYCH I ZASTOSOWANIA W MEDYCYNIE

1. Nanotechnologia jako dziedzina nauki

XXI wiek przyniósł ogromny rozwój w dziedzinie nanotechnologii, gdzie istotną rolę pełni rozwój nanomedycyny. Ma ona na celu diagnozowanie, analizę struktur komórkowych, rekonstrukcję tkanek uszkodzonych przy wykorzystaniu nanostruktur. Dziedziny medycyny, które chętnie korzystają w możliwości nanotechnologii to: nanofarmakologia, nanodiagnostyka, medycyna regeneracyjna, nanochirurgia, nanoonkologia. Razem z informatyką i biotechnologią tworzy się zespół dziedzin, których wspólny rozwój może bardzo wyraźnie wpłynąć na ludzkie życie. Dzięki prowadzeniu badań i eksperymentów jest możliwe poznanie cech nanomateriałów bardzo dokładnie oraz scharakteryzowanie ich w celu wykorzystania w konkretnej aplikacji medycznej. Postęp w dziedzinie nanodiagnostyki pozwala na wczesne wykrycie i rozpoznanie choroby, co daje szansę na całkowite wyleczenie. Nanostruktury węglowe pozwalają na dostarczanie medykamentów bezpośrednio do tkanek zmienionych chorobowo. Odgrywa to dużą rolę w leczeniu nowotworów. Nanocząstki są stosowane także do znakowania substancji w testach biologicznych czy jako wskaźnik. Nanocząstki jako wskaźniki ujawniają obecność lub aktywność wybranych substancji, np. magnetyczne nanocząstki połączone z przeciwciałami, odgrywają rolę w znakowaniu molekuł i struktur. Nanodiagnostyka znajduje zastosowanie nanostruktur węglowych jako biosensorów. Biosensory zbudowane są z części biologicznej i fizycznej [1].



Rys. 1. Modele nanorurek węglowych [26]: (a) jednościennej, (b) dwuściennej, (c) wielościennej



Rys. 2. Model struktury grafenu [26]



Rys. 3. Model budowy fulerenów [26]

2. Biokompatybilność nanomateriałów węglowych

Materiały stosowane w medycynie powinny przede wszystkim spełniać zasadę bezpieczeństwa. Skutki uboczne stosowania takich materiałów powinny być wyeliminowane całkowicie lub jak najbardziej zminimalizowane. W przypadku materiałów węglowych muszą one być biokompatybilne z tkankami ludzkimi i hematobilne z krwią. Prowadzi się wiele badań nad toksycznością nanostruktur węglowych, co jest bardzo istotne, aby jak najdokładniej poznać profil toksyczności danego materiału. Uzyskanie bezpiecznego i biokompatybilnego materiału polega na przeprowadzeniu wielu prób jego użyteczności w środowisku *in vivo*.

Cechy, które powinien spełniać biomateriał:

- a) brak reakcji alergicznych, toksycznych, zapalnych, trombogenicznych;
- b) nieuszkodzanie komórek krwi;
- c) brak reakcji szkodliwych w stosunku do białek i enzymów;

- d) brak reakcji immunologicznych;
- e) brak uszkodzenia sąsiadujących tkanek;
- f) brak skutków kancerogennych.

W przypadku materiałów mających kontakt z krwią, ważne są cechy:

- a) czystość chemiczna – proces adsorpcyjny związany ze środowiskiem;
- b) dobra zwilżalność wodna – dobra mieszalność z krwią, której głównym składnikiem jest woda;
- c) wysoka pojemność adsorpcyjna – wydobywanie z krwi trucizn, toksyn przez hemotosorbent;
- d) brak pylenia – hematosorbent nie powinien się kruszyć i uwalniać drobin $<5\mu\text{m}$ [36].

3. Charakterystyka nanomateriałów węglowych

Grafen, nanorurki oraz fulereny należą do nanomateriałów węglowych cieszących się bardzo dużym zainteresowaniem ostatnich lat ze względu na duże możliwości zastosowań w chemii analitycznej, przemyśle nanotechnologicznym. Dzięki właściwościom chemicznym jak adsorpcyjność (wynikająca z dużej powierzchni właściwej) oraz przez modyfikacje grupami funkcyjnymi jest możliwość modyfikacji struktury materiałów. Możliwe jest także dołączanie nowych grup funkcyjnych dających zmiany struktury i składu chemicznego otrzymywanych nanomateriałów.

Grafen jest odmianą alotropową węgla. Posiada cenne właściwości fizykochemiczne: dobre przewodnictwo elektryczne oraz wysoką odporność na wysokie temperatury. Pojedyncza warstwa atomów węgla tworzy sześcieelementowe pierścienie. Ułożenie atomów przypomina plaster miodu [14]. Grafen ma właściwości antybakteryjne powodujące niszczenie błony komórkowej bakterii, a ponadto hamujące wzrost bakterii *Escherichia coli*. Fulereny są to struktury o kulistej budowie, złożone z parzystej liczby atomów węgla. Kształtem fulereny przypominają piłkę. Ciekawą właściwością fulerenów jest możliwość łączenia się z polimerami, przez co można uzyskać bardzo rozwinięte powierzchnie. Ponadto we wnętrzu fulerenów można zamknąć prawie wszystkie pierwiastki i małe cząsteczki związków chemicznych. Fulereny nie są wchłaniane ani absorbowane przez skórę, nie mają właściwości drażniących ani uczulających na skórę. Mogą być wykorzystywane jako inhibitory asparaginowe proteaz HIV przez dopasowanie się do centrum aktywnego enzymu oraz działania siłami van der Waalsa. Mogą również neutralizować wolne rodniki poprzez wysoki potencjał antyoksydacyjny [13].

Nanorurki (nanopłatki, nanoarkusze) są bardzo wytrzymałym materiałem. Poprzez dużą powierzchnię właściwą oraz odporność na rozciąganie i wysokie

przewodnictwo cieplne, można stwierdzić, że są lepszym materiałem od stali (wyższa wytrzymałość CNT), aluminium (mniejszy ciężar CNT), diamentu (CNT są ponad dwukrotnie twardsze) [13].

Nanocząstki posiadają wymiary w nanoskali. Zmiany cech fizyczno-chemicznych są spowodowane dużym stosunkiem liczby atomów na powierzchni do liczby atomów rdzeniowych cząstki. Reaktywność chemiczna i biologiczna zwiększa się pod wpływem sił zewnętrznych działających na nanocząstki i zmienia się ich zachowanie [10]. Nanorurki dzielimy na jednościenne i wielościenne. Wielościenne nanorurki węglowe są stosowane do hamowania wzrostu komórek nowotworowych (leczenie raka piersi, nowotworu pęcherza moczowego). Nanorurki węglowe jednościenne są stosowane do produkcji materiałów bakteriobójczych, gdyż są zdolne do penetracji przez błonę komórkową bakterii. CNT są również wykorzystywane do immobilizacji biomolekuł [13]. Innym zastosowaniem jest transport leków w organizmie człowieka. CNT mogą zwiększać także szybkość przyswajania antybiotyku przeciwczybniczego (amfoterycyny B). Ponadto prowadzone są terapie fotodynamiczne polegające na wstrzykiwaniu CNT w tkanki nowotworowe i działaniu na nie falami radiowymi, powodując niszczenie komórek nowotworowych [7].

4. Nanotoksykologia

Nanotechnologia ciągle wprowadza do środowiska nowe materiały, które są coraz chętniej stosowane, przez co ich ilość ciągle się zwiększa. Kontakt z nanocząstkami jest nie do uniknięcia.

Ekspozycja zachodzi różnymi drogami, najłatwiej z powietrzem atmosferycznym. Badanie toksyczności nie jest łatwym zadaniem, gdyż musimy zapoznać się ze złożonymi mechanizmami kinetyki, oddziaływań wewnątrzkomórkowych (zaburzenia procesów biochemicznych, uszkodzenie organelli komórkowych, uszkodzenie genomu). Nanocząstki posiadają cechy, które mogą powodować skomplikowane interakcje z komórkami czy tkankami, a także całymi narządami.

Aktywność biologiczna nanocząstek ma związek z właściwościami danego materiału. Badania skupiają się na tym, które właściwości mają największy wpływ na indukowanie cytotoksyczności. Jest to zadanie skomplikowane, gdyż nawet najmniejsze zmiany medium powodują zmiany właściwości nanocząstek. Cechy wpływające na cytotoksyczność nanocząstek to ich kształt, właściwości powierzchni i jej reaktywność, rozpuszczalność, możliwość agregacji i skład chemiczny [16].

5. Wpływ nanocząstek na organizm i ich toksyczność

Nanocząstki mogą mieć różny wpływ na organizm człowieka. Mogą gromadzić się w układzie oddechowym czy przechodzić przez skórę. Mogą powodować dysfunkcje organelli komórkowych, ponieważ po przedostaniu się do retikulum endoplazmatycznego, wewnątrz aparatu Golgiego oraz lizosomów powstają wolne rodniki. Powstają wysoko reaktywne rodniki hydroksylowe. Uszkadzające DNA oraz błony komórkowe i białka. Ponadto nanocząstki mogą stymulować wytwarzanie genotoksycznych składników czy też blokować transport elektronów w mitochondriach. Niebezpieczne jest przechodzenie nanocząstek bariery krew-mózg. Do tej pory przeprowadzono wiele badań, podczas których obserwowano uszkodzenia DNA. Stopień uszkodzenia zależał od rodzaju nanocząstek, a także od rodzaju badanych linii komórkowych (ludzkie lub zwierzęce). Na przykład nanocząstki zawierające srebro powodują zmiany błon komórkowych i zwiększają ich porowatość. Uwalniane są toksyczne jony metali lub powstają reaktywne formy tlenu. Ważną informacją jest to, że nanocząstki mogą być również nośnikami substancji toksycznych. Prowadzenie badań nad toksycznością nanocząsteczek jest złożonym i skomplikowanym procesem wieloetapowym. Na początku zbierane są informacje o właściwościach fizykochemicznych.

Drugim krokiem jest charakterystyka nanocząstki pod względem składu chemicznego, pola powierzchni, ładunku powierzchniowego, kształtu, wymiarów, właściwości redoks, funkcjonalizacji, rodzaju powłoki, formy krystalicznej, agregacji i aglomeracji, niejednorodności materiału. Następnie wybierana jest metoda do badań toksyczności biorąc po uwagę właściwości adsorpcyjne, stres oksydacyjny, cytotoksyczność i genotoksyczność, chemotaksje. Z kolei przeprowadzane są testy cytotoksyczności *in vitro*, np. testy ATP, redukcji MTT, uwalniania LDH, tworzenia wolnych rodników ROS, polimeryzacji F-aktyny (fagocytozy), profil cytokin oraz testy syntezy kolagenu. Badania mogą być prowadzone na komórkach ludzkich lub liniach komórkowych. Wykorzystywane komórki ludzkie pochodzą z nabłonka dróg oddechowych, makrofagów, śródbłonka, fibroblastów, komórek neuroblastomy, keratynocytów. Natomiast badane linie komórkowe to głównie komórki wątroby szczura, makrofagi płuc. Ostatnim etapem przed wydaniem decyzji o toksyczności są dodatkowe testy takie jak badania koagulacji czy proliferacji [37].

Nanomateriały mogą wnikać różnymi drogami do organizmów żywych tak jak: przez wdychanie, kontakt ze skórą, z pokarmem i z iniekcjami. Badania *in vivo* są bardziej skomplikowane i bardzo istotne do przeprowadzenia, ze względu na łatwe drogi wnikania do organizmów oraz ciągłe narażenie i możliwość gromadzenia w narządach. Ponadto grafen i jego pochodne wchodzą w interakcje z biomolekułami i zdarza się, że szkodliwe dla komórek.

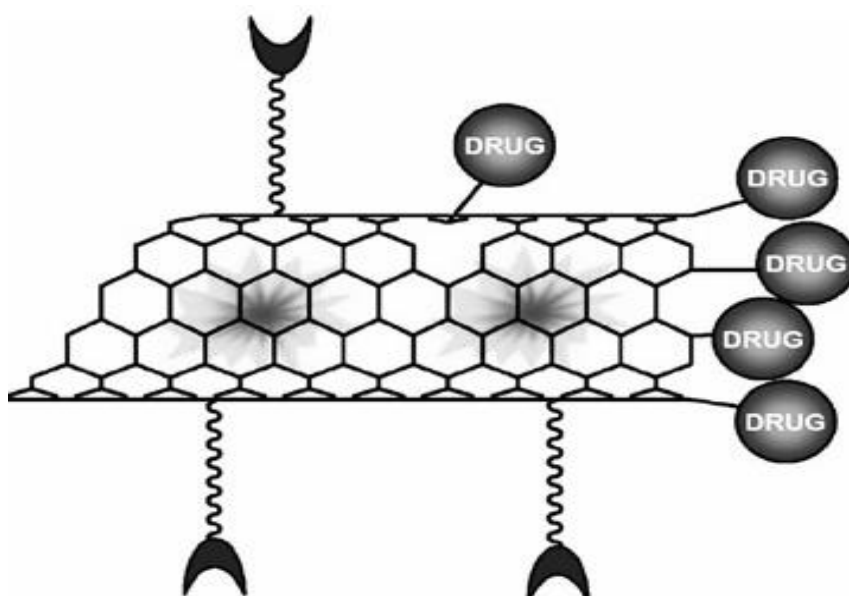
Jest to powodem zbadania i oceny toksyczności *in vivo*, w celu dokładnego opisanie zachowania tego materiału w stosunku do organizmów żywych. Podjęto pracę nad badaniem właściwości krwi, zakrzepów krwi i zmian patologicznych. Nanomateriały stosowane w medycynie i aplikacjach biomedycznych muszą być kompatybilne z krwią. W przeciwnym razie mogą agregować, absorbować białka osocza i płytki krwi ze względu na dużą energię powierzchniową i dużą powierzchnię (w efekcie prowadzi do zakrzepów czy aktywować kaskadę dopełniacza). Znając zagrożenia spowodowane niewiedzą oddziaływania nanocząstek z krwią istotne są liczne badania przed zastosowaniem w praktyce tych materiałów [21].

6. Zastosowanie medyczne nanorurek węglowych

Nanorurki węglowe charakteryzują się zróżnicowaną morfologią oraz unikatowymi właściwościami fizykochemicznymi. Czynniki te zadecydowały o gwałtownym rozwoju prac doświadczalnych w ciągu ostatnich dwudziestu lat, dotyczących węglowych nanostruktur i ich perspektywicznych zastosowań. Nanomedycyna jest niezwykle ważną dziedziną, w której nanorurki mogą znaleźć różnorodne zastosowania, zarówno w terapii, jak i diagnostyce. Jednym z kierunków jest rozwój czujników biologicznych (ang. *biosensors*) oraz bioreaktorów w skali nano, gdzie podstawę stanowi unieruchomienie białka lub enzymu na powierzchni nanorurki węglowej lub we wnętrzu grafitowego cylindra[3]. Pojawiają się doniesienia o elektroanalitycznych urządzeniach bazujących na nanorurkach, które mogą być skutecznie wykorzystywane do rozpoznawania antygenów, a także katalizowania reakcji enzymatycznych [6]. Przyłączając specyficzny ligand na zakończeniu nanorurki węglowej, można uzyskać nanosondy diagnostyczne, przydatne np. w mapowaniu receptorów na powierzchni komórek. Nanorurki węglowe mogą również stać się przełomem w inżynierii tkankowej. Prowadzone są wstępne badania sugerujące możliwość ich działania jako elektromechanicznego rozrusznika dla sztucznych mięśni oraz prace nad odpowiednią biofunkcjonalizacją nanorurek, które mają stanowić substrat dla wzrostu neuronalnego[19]. Podejmuje się także liczne próby łączenia nanorurek węglowych z cząstkami aktywnymi w celu tworzenia nowoczesnych docelowych transporterów leków, co jest szczególnie istotne z punktu widzenia przemysłu farmaceutycznego [4].

Na rynku farmaceutycznym znajdują się preparaty wykorzystujące jako nośniki leków m.in. liposomy, surfaktanty czy struktury polimerowe [22]. W badaniach klinicznych wykazano wzrost skuteczności przy jednoczesnym zmniejszeniu toksyczności dokсорubicyny związanej z nośnikiem liposomalnym oraz polietylenoglikolem. Systemy transportujące substancję leczniczą mogą

także wpływać na inne właściwości leku, jak rozpuszczalność w wodzie, pozwalają uzyskać spowolnione uwalnianie lub kontrolować uwalnianie substancji czynnej[9]. Ponadto mogą chronić substancję leczniczą przed degradacją chemiczną (hydroliza i rozkład enzymatyczny), fotorozkładem, a także poprawić jej biodostępność. Wykorzystanie nanorurek węglowych jako nośników jest możliwe dzięki postępowi badań nad ich chemiczną modyfikacją endo- i egzohedralną [2]. Nanorurki węglowe mogą być poddawane funkcjonalizacji z różnymi cząstkami aktywnymi odpowiedzialnymi za rozpoznanie celu (terapia celowana), obrazowanie oraz terapię. Powstaje w ten sposób wielofunkcyjny system transportujący lek, który może znacznie poprawić jego profil farmakologiczny [27].



Rys. 4. System do transportu leków z zastosowaniem nanorurki węglowej z różnymi ligandami [23]

6.1 Nanokontery

Nanorurki wypełnione różnymi indywiduami chemicznymi mogą być zastosowane w terapii nowotworów, diagnostyce oraz jako środki kontrastowe [29]. Trwają badania nad „czystą”, efektywną i powtarzalną syntezą nanorurek węglowych wypełnionych żelazem, przeznaczonych do leczenia nowotworów, tzw. metodą przegrzania płynem ferromagnetycznym [8]. W fazie badań klinicznych znajdują się analogiczne nanocząstki otaczające metal lub tlenek metalu i jednocześnie posiadające na powierzchni ligandy (kwas foliowy lub odpowiednią glikoproteinę), zapewniające transport nanocząstek do komórek

rakowych. Cząstki takie po podaniu dożylnym i osiągnięciu celu, są poddawane działaniu zewnętrznego pola magnetycznego, co prowadzi do kontrolowanego ogrzania cząstek metalu i w konsekwencji do zniszczenia zmienionych komórek. Wyniki wskazują, że metoda ta jest bardziej precyzyjna niż chemioterapia, niesie także mniejsze ryzyko wystąpienia działań niepożądanych i generuje niższe koszty [5].

6.2. Nośniki genów

Terapia genowa jest obiecującą metodą leczenia nowotworów i zaburzeń genetycznych. Do transportu genów służą specjalne wirusowe i niewirusowe nośniki (liposomy, polimery, mikro- i nanocząstki). Pierwsze, niosą ryzyko wystąpienia działań niepożądanych, takich jak odpowiedź immunologiczna, stany zapalne czy onkogeneza. Natomiast transportery niewirusowe, choć bardziej bezpieczne, nie zawsze zapewniają odpowiedni poziom ekspresji genu. Dlatego naukowcy podejmują wysiłki w celu poszukiwania nowych, bardziej efektywnych nośników[4]. Wielkocząsteczkowy i kationowy charakter sfunkcjonalizowanych nanorurek węglowych (f-CNT) umożliwia elektrostatyczne oddziaływanie z plazmidowym DNA. W celu zbadania zdolności f-CNT do tworzenia kompleksów z kwasami nukleinowymi i ich translokacji. Część naukowców łączyła w różnych stosunkach f-CNT oraz plazmidowe DNA, zawierające gen markerowy β -galaktozydazy. Obrazy uzyskane dzięki TEM wykazały obecność kompleksów CNT-DNA. Nanorurki f-SWCNT były obecne w postaci wiązek, między którymi występowały plazmidy w formie pierścieniowych skupisk lub super zwiniętych struktur. Badania stopnia ekspresji genu β -galaktozydazy, wykazały zdolność przenikania tych kompleksów do komórek. Ponadto stwierdzono 5–10 razy większy poziom ekspresji genu dla kompleksów f-SWCNT i DNA niż dla samej helisy DNA [25]. Transportowanie genów przy pomocy nanorurek węglowych, może być skutecznie wykorzystane w terapii polegającej na wyciszaniu genów. Naukowcy przygotowali odpowiednie kompleksy f-SWCNT i siRNA genu telomerazy. Stwierdzono szybkie wnikanie tych kompleksów do linii mysich komórek nowotworowych, uwalnianie siRNA oraz skuteczną supresję genu telomerazy [38].

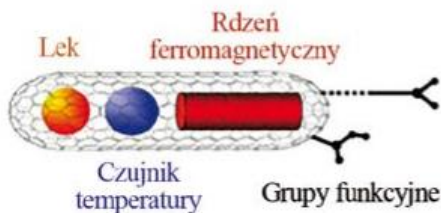
6.3. Nośniki antygenów

Połączenie zewnętrznych ścian nanorurek z syntetycznie otrzymanymi peptydami, np. epitopami antygenów, tworzy układ, który w żywym organizmie może wywołać odpowiedź immunologiczną [29]. Naukowcy przeprowadzili chemoselektywną reakcję przebiegającą między grupami maleimidowymi f-CNT oraz grupami tiolowymi cysteiny, prowadzącą do powstania trwałych wiązań. Dzięki temu połączono f-CNT z fragmentem proteinowej otoczki wirusa

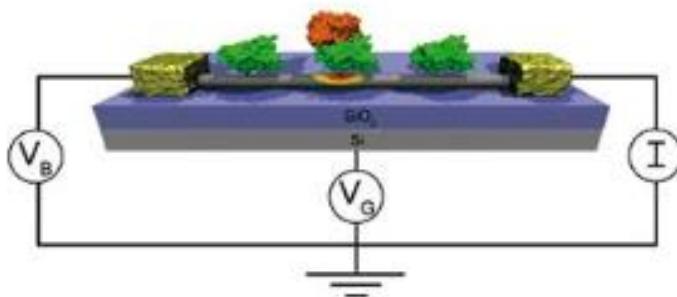
pryszczycy (FMDV), rozpoznawanym przez limfocyty typu B. Utworzono dwa typy ligandów, z pojedynczym i podwójnym łańcuchem peptydowym. Następnie badano właściwości antygenowe i immunologiczne f-CNT z różnymi ligandami. Stwierdzono, że przeciwciała w porównywalny sposób rozpoznają wolny antygen oraz w połączeniu z f-CNT, natomiast nie rozpoznają f-CNT. Sam nośnik nie wywoływał również odpowiedzi immunologicznej. Wykazano także zdolność przeciwciał do neutralizacji wirusów. Powyższe wyniki wskazują, że nanorurki mogą być w przyszłości skutecznym transporterem szczepionek otrzymywanych drogą syntezy [17].

6.4. Nośniki leków

Poprawa parametrów farmakokinetycznych jest szczególnie istotna dla leków o znacznej toksyczności oraz niskiej biodostępności. Stąd duże zainteresowanie naukowców potencjalnym zastosowaniem nanorurek węglowych w terapii nowotworów. Wysoki stosunek długości do średnicy nanorurek umożliwia przyłączenie wielu cząstek aktywnych, które mogą pełnić różne funkcje w transporcie leków. Uzyskuje się dzięki temu wielofunkcyjne nośniki, które udoskonalają transport leku. Niestety problemem pozostaje optymalizacja otrzymywania takich połączeń oraz efektywne wewnątrzkomórkowe uwalnianie z nich substancji czynnej [4]. Naukowcy przeprowadzili reakcję cykloadycji z udziałem MWCNT i azydku alkiloksykarbonylowego. Uzyskane f-MWCNT mają dwie zablokowane grupy aminowe, do których przyłączano kolejno cząsteczki fluoresceiny oraz metotreksatu. Nie wykazano istotnego wzrostu aktywności leku, co może być spowodowane zbyt powolnym uwalnianiem metotreksatu, na skutek obecności dość stabilnych chemicznie wiązań amidowych [27] nanorurki mogą pośrednio prowadzić do wzrostu toksyczności leków przeciwnowotworowych wobec komórek guza, przez zwiększenie ich zdolności do przenikania do cytoplazmy, co zostało wykazane w innych badaniach. Powierzchnię nanorurek poddano chemicznej niekwalencyjnej modyfikacji z PEG oraz fosfolipidami. Następnie, kompleksy platyny(IV) łączono z aktywowanymi grupami aminowymi fosfolipidów. Stwierdzono we wnętrzu komórek sześciokrotnie wyższe stężenie kompleksu platyny, transportowanego w połączeniu z SWCNT na drodze endocytozy, w porównaniu do kompleksów transportowanych bez udziału nośnika [11]. Nasilone właściwości cytotoksyczne mają również niekwalencyjne kompleksy doksorubicyny otoczone polimerem MWCNT [1].



Rys. 4. Schemat nośnika leków w terapii kierowanej [28]



Rys. 5. Schemat biosensora zbudowanego z jednościennej nanorurki węglowej [28]

6.5 Toksyczność nanorurek węglowych

Gwałtowny rozwój nanotechnologii w ciągu ostatnich kilkadziesiąt lat rodzi pytania o wpływ, jaki nanomateriały mogą wywierać na zdrowe tkanki. Potencjalna toksyczność nanorurek węglowych może wynikać z wysokiego stosunku długości do średnicy oraz z toksyczności materiału, jakim jest grafit. W przeciwieństwie do cząstek o średnicy powyżej 100 nm, nanorurki (zwłaszcza dość długie) wykazują potencjalnie wyższą toksyczność wobec układu oddechowego. Łatwo ulegają redystrybucji z miejsca magazynowania, mogą unikać fagocytozy oraz zmieniać strukturę protein. Działania te prowadzą do aktywacji czynników zapalnych oraz odpowiedzi immunologicznej i zaburzenia czynności komórek. Nanorurki węglowe, w aspekcie toksykologicznym, można zaklasyfikować do „nanocząstek”, które mogą uczestniczyć w nieznanych i nieprzewidywalnych interakcjach z układami biologicznymi [17]. Wewnętrzną toksyczność nanorurek węglowych można ograniczyć dzięki poddaniu odpowiedniej funkcjonalizacji. Badania *in vitro* prowadzone przez grupę badaczy, wskazują, że SWCNT sfunkcjonalizowane kowalencyjnie przez ugrupowania sulfofenylowe i karboksyfenylowe wywołują słabsze działanie cytotoksyczne niż wodna zawiesina oczyszczonych SWCNT stabilizowana 1% roztworem surfaktantu (Pluronic F108). Ponadto w tym samym badaniu

udowodniono, że wzrost stopnia kowalencyjnej modyfikacji ścian bocznych nanorurek może prowadzić do dalszego zmniejszenia cytotoksyczności SWCNT[30]. Ze względu na niezwykle wymiary, nanorurki węglowe można zaliczyć do materiałów włóknistych, charakteryzujących się zwykle wysoką toksycznością wobec płuc. Oceniono toksyczność SWCNT u myszy, mając na względzie możliwość zawodowego narażenia ludzi na oddziaływanie zarówno oczyszczonych, jak i nieoczyszczonych CNT. W tym celu, po upływie 7 i 90 dni od wprowadzenia SWCNT (zawiesina w surowicy) do tchawicy, przeprowadzono badanie histopatologiczne tkanki płucnej. Wykazano, że zależnie od dawki oraz zawartości katalizatora, zastosowanie SWCNT prowadziło do powstania ziarniaków i wywoływało śródmiąższowe stany zapalne, a w wyniku dalszego rozwoju zmian patologicznych w ciągu 90 dni dochodziło do odoskrzelowego zapalenia płuc [18]. Pojawiają się również doniesienia o możliwości inicjowania przez CNT procesu włóknienia płuc. Podawano różne dawki SWCNT do gardła myszy w taki sposób, aby uzyskać aerozol. W wyniku tego powstały dwie frakcje SWCNT różniące się wielkością cząstek oraz działaniem szkodliwym. Uznano, że pierwsza część, pod względem morfologicznym stanowiąca agregaty nanorurek, była odpowiedzialna za wywołanie ostrego stanu zapalnego oraz powstanie ziarniaków w miejscu ich nagromadzenia. Drugi rodzaj cząstek to cienkie, delikatne nanorurki węglowe o średnicy poniżej 50 nm, którym przypisano zapoczątkowanie włóknienia i zwiększenia grubości ścian pęcherzyków płucnych w obszarach, do których nie docierały agregaty CNT [31]. Zarówno dotchawicze podanie materiału, jak też aspiracja gardłowa prowadzi do aglomeracji CNT. Nanorurki wypełnione różnymi indywiduami chemicznymi mogą znaleźć zastosowanie w terapii nowotworowej, diagnostyce i jako środki kontrastowe w górnej części oskrzeli oraz do formowania pierwszych zmian włóknistych.

Jednak te metody inhalacji nie w pełni oddają fizjologiczny mechanizm wdechu i nie uwzględniają na przykład zatrzymania części cząstek w górnych drogach oddechowych. Ponadto, badania wykazały, że wzbudzenie i uwolnienie drobnych cząstek CNT w powietrzu wymaga pewnego nakładu energii oraz, że podczas procesów produkcyjnych nie dochodzi do wytworzenia znacznych ilości CNT w powietrzu. Kolejną drogą narażenia na CNT jest droga dermalna. Pierwsze badania poświęcone tej problematyce zostały opublikowane przez Huczko i Lange. Test dermatologiczny z udziałem 40 ochotników oraz test Draize'a, nie wykazały drażniącego działania CNT na skórę [15]. Jednak badania wykorzystujące linie ludzkich keratynocytów nieco podważają te wyniki. W 2005 roku naukowcy, badając wpływ nieoczyszczonych SWCNT na linię komórek nieśmiertelnionych ludzkich keratocytów (HaCaT), uzyskali wyniki świadczące o znacznym wzroście stresu oksydacyjnego z wyczerpaniem rezerw przeciwutleniaczy, utracie żywotności oraz morfologicznych zmianach w strukturze tych komórek. Wystąpienie tych działań było w pewnym stopniu

uwarunkowane dość dużym zanieczyszczeniem materiału resztkami katalizatora (ok. 30%) [31]. Z tego względu autorzy zwracali uwagę na konieczność unikania bezpośredniego kontaktu skóry z nanorurkami podczas pracy z materiałem. Podobne badania, przeprowadzone na żywych keratynocytach (HEK) przez Monteiro-Riviere, wykazały wystąpienie odpowiedzi w postaci zwiększenia produkcji prozapalnych cytokin oraz zmniejszenia żywotności komórek. Wystąpienie reakcji było zależne zarówno od dawki, jak i od czasu narażenia komórek na działanie oczyszczonych MWCNT. W niektórych badaniach, które dotyczyły limfocytów T oraz linii zarodkowych komórek nerki wykazano zdolność CNT do indukcji apoptozy. Nie zaobserwowano takiej reakcji dla keratynocytów. Różnice te mogą wynikać ze sposobu przygotowania materiału oraz z wyższej wrażliwości niektórych komórek na działanie CNT [24]. Powyższe przykłady świadczą, że ocena toksyczności CNT nie jest zadaniem łatwym. Dotąd przeprowadzono niewiele badań poświęconych tej tematyce, a ich wyniki są często nieprzekonujące, a nawet sprzeczne. Podsumowując, można stwierdzić, że nieoczyszczone nanorurki wykazują dość duży stopień toksyczności (in vitro i in vivo), jednak za te właściwości odpowiada głównie obecność katalizatorów (Fe, Ni, Co, Zn). Ekspozycja na oczyszczone CNT, zwłaszcza ich wysokie stężenia, powoduje wystąpienie znacznie mniejszych działań toksycznych. Najmniejszą szkodliwością charakteryzują się nanorurki sfunkcjonalizowane, przeznaczone między innymi do aplikacji biomedycznych. Badania toksyczności i cytotoxyczności CNT powinny być kontynuowane, a wyniki poddawane szczegółowej analizie, aby zapewnić bezpieczeństwo osobom pracującym przy produkcji CNT oraz aby umożliwić wykorzystywanie nanorurek węglowych na szerszą skalę w przyszłości [30].

7. Najnowsze osiągnięcia

Postęp w dziedzinie tzw. nanodiagnostyki pozwala na wczesne rozpoznanie choroby, co daje szansę nawet na stuprocentowe wyleczenie. Uzyskanie znacznie lepszych pomiarów ma związek z zastosowaniem nanocząstek w roli wskaźnika lub znacznika w testach biologicznych, które ujawniają obecność lub aktywność wybranych substancji. Jako przykład mogą posłużyć magnetyczne nanocząstki połączone z odpowiednim przeciwciałem, odgrywające dużą rolę w znakowaniu molekuł, struktur lub mikroorganizmów. Nanodiagnostyka wiąże duże nadzieje z zastosowaniem w przyszłości nanostrukturalnych materiałów węglowych jako biosensorów. Typowe biosensory zbudowane są z elementu biologicznego i fizycznego – pełniącego rolę przetwornika. W skład części biologicznej zwykle wchodzi: naturalne przeciwciała lub antygeny, enzymy, kwasy nukleinowe czy syntetyczne receptory utworzone z materiałów

biometrycznych. Do części fizycznej zaliczamy: detektory optyczne, wykorzystujące takie zjawiska, jak fluorescencja czy polaryzacja; detektory elektrochemiczne – konduktometryczne, amperometryczne, potencjometryczne; czujniki wrażliwe na zmianę masy; czujniki z detekcją selektywną. Badania przeprowadzone przez grupę badaczy [34] pozwoliły na opracowanie pierwszej elektrody na bazie CNT do amperometrycznego i woltamperometrycznego oznaczania insuliny. Stosując kombinację nanorurek i tlenków metali, autorzy wykazali, że taka elektroda charakteryzuje się szybszym transferem ładunków. Również inni [32] opracowali detektor insuliny przy użyciu kompozytu MWCNT z polidihydropirany. Dzięki wykorzystaniu tej elektrody w specjalnym chipie autorzy byli w stanie w sposób ciągły kontrolować wydzielanie insuliny w komórkach wysp trzustki. Z tej przyczyny sensory takie pomyślnie rokują jako narzędzie do szybkiej i ciągłej detekcji insuliny. Do innych zastosowań biosensorów w diagnostyce należy zaliczyć możliwość wczesnego wykrywania markerów niektórych chorób w płynach ustrojowych, np. badanie stężenia pochodnej β -amyloidu jako markera choroby Alzheimera w płynie mózgowo-rdzeniowym. Dzięki zastosowaniu tego testu możliwe jest wykrycie u chorych już 50 cząsteczek pochodnej β -amyloidu. W porównaniu do tradycyjnego testu immunologicznego (ELISA), który pozwala wykryć β -amyloid tylko w tkance mózgowej, jest on znacznie skuteczniejszy. Obecnie w większości terapii konieczne jest stosowanie dużych dawek leku, które niszczą nie tylko komórki chorobowe, ale także te zdrowe, co związane jest z brakiem precyzji w dostarczaniu leku w miejsce docelowe. Rozwiązanie tego problemu staje się coraz bardziej realne dzięki zastosowaniu nanotechnologii. Wykorzystanie znajomości natury zjawiska umożliwia precyzyjne dostarczenie leku w pożądane miejsce, co pozwala na bardziej efektywne działanie leku i znaczne ograniczenie skutków ubocznych. Obecnie „na rynku” funkcjonują trzy rodzaje systemów dostarczania leków:

1. system I generacji, do którego należą mikrokapsułki i mikrosfery,
2. system II generacji, do którego należą nośniki o średnicy 1 nm – liposomy, nanokapsułki, nanosfery nazywane biernymi nośnikami koloidowymi,
3. system III generacji to nośniki drugiej generacji połączone z dedykowanymi przeciwciałami monoklonalnymi.

Bardzo istotnym przykładem zastosowania nanotechnologii są terapie przeciwnowotworowe łączące w sobie zarówno diagnostykę, jak i terapię, co ma istotne znaczenie we wczesnym wykryciu choroby. Wykorzystywane są w tym celu nanodruły, które działają z dużą selektywnością. Pokrycie ich cząsteczkami wykrywającymi specyficzne białka lub sekwencje RNA, tj. przeciwciała lub oligonukleotydy, wywołuje zmianę elektrycznej przewodności czynnej mierzonej przez odpowiedni detektor. Umożliwia to wczesne wykrycie białek produkowanych przez komórki rakowe. Wczesna diagnostyka wiąże także duże nadzieje w wykorzystaniu kropek kwantowych. Mają one zdolność emitowania

światła np. po wcześniejszym wystawieniu na działanie światła UV. Wstrzyknięte pacjentowi przed operacją, przedostają się do guza, uwidaczniając go, i w ten sposób poprawiają znacznie jakość i skuteczność pracy chirurga [33].

W nanoonkologii badane są najczęściej takie nanocząstki, jak: dendrymery, nanorurki węglowe, fulereny, liposomy czy kropki kwantowe. Wykorzystanie nanorurek węglowych jako nośnika leków przeciwnowotworowych zostało opisane w wielu pracach. W badaniach wykorzystano jednościenne nanorurki węglowe wypełnione cisplatyną znajdujące zastosowanie w leczeniu raka prostaty. W pierwszym etapie przeprowadzono otwarcie struktury jednościennej nanorurki węglowej. Następnie do wnętrza otwartych nanorurek wprowadzono lek metodą nanokondensacji kapilarnej. Metoda ta opiera się na adsorpcji cząsteczek rozpuszczalnika na wewnętrznych i zewnętrznych ścianach nośnika. Cząsteczki leku przenikają przez utworzoną cienką warstwę i łączą się ze ścianą nośnika oddziaływaniami van der Waalsa. Po dokonaniu analiz zauważono, że wraz ze wzrostem zawartości nanonośnika z cisplatyną rośnie liczba niszczo-nych komórek nowotworowych. Niestety zastosowanie układu: jednościenne nanorurka węglowa – cisplatyna nie zwiększyło cytotoksyczności – oddziały-owało równie silnie na komórki nowotworowe jak „wolny” lek. Jednakże układ ten przyczynił się do ograniczenia występowania skutków ubocznych.

Przeprowadzono badania nad wykorzystaniem otwartych wielościennych nanorurek węglowych napełnionych cisplatyną metodą nanokondensacji kapilarnej. Zaobserwowano, że wielościenne nanorurki węglowe uwalniają prawie całą ilość leku znacznie szybciej w porównaniu do jednościennych nanorurek węglowych. Tłumaczono to faktem braku wzajemnych oddziaływań w układzie cisplatyna – wielościenna nanorurka węglowa. Grupa badawcza [13] wykorzystała inny lek przeciwnowotworowy, w tym przypadku karboplatinę i umieściła ją we wnętrzu nanorurki węglowej metodą „mokrą” po wcześniejszym otwarciu nanonośnika. Karboplatyna znacznie spowalniała wzrost komórek nowotworowych krwi. Wykorzystano paklitaksel przyłączony wiązaniem amidowym do jednościennych nanorurek węglowych [20]. W pierwszej kolejności nanorurki węglowe zmodyfikowano, poddając je działaniu glikolu polietylenowego z ugrupowaniem aminowym. Natomiast do cząsteczki leku przyłączono grupę karboksylową. Połączenie lek – nanonośnik odznacza się większą rozpuszczalnością niż kliniczna forma paklitakselu, dłuższym czasem przebywania w obiegu krwionośnym oraz lepszym wychwytem przez komórki nowotworowe. Układ jednościenne nanorurka węglowa - paklitaksel powoduje również resorpcję guza przy zastosowaniu niewielkich ilości chemioterapeutyku. Paklitaksel przyłączony wiązaniem disiarczkowym do powierzchni jednościennych nanorurek znalazł zastosowanie w leczeniu białaczki. Jednościenne nanorurki węglowe zmodyfikowano poprzez: utlenienie, wprowadzenie grup amidowych, funkcjonalizację ugrupowaniami aminowymi. Układ taki powodował bardzo efektywne niszczenie komórek

nowotworowych. Grupa badawcza [1] wykorzystwała niekowalencyjne połączenie doksorubicyny z nanorurkami węglowymi. Wielościenne nanorurki węglowe zmodyfikowano za pomocą trójblokowego kopolimeru, który przyczynił się do zwiększenia rozpuszczalności w środowisku wodnym. Połączenie doksorubicyna - nanorurka węglowa przyczyniło się do zwiększenia toksycznego działania leku na komórki raka piersi. Stwierdzono, że użycie wielościennych nanorurek węglowych ułatwiło dostarczenie leku do zmienionych chorobowo komórek przez bariery biologiczne oraz poprawiło jego aktywność [35]. Kropki kwantowe, świecące fluorescencyjnie, badane są w celu łatwego obrazowania nowotworów w określaniu miejsca zmienionego chorobowo podczas zabiegu chirurgicznego. Wprowadzone do guza fulereny, zamiast kropek kwantowych, dają możliwość obserwacji tzw. węzłów wartowniczych, czyli węzłów chłonnych umiejscowionych najbliżej ogniska nowotworowego. Zaobserwowano, że kropki kwantowe niemal natychmiast wydostały się z guza wraz z chłonką. Na stąpiło szybkie pojawienie się sieci połączeń limfatycznych, poprzez które rozchodzą się komórki nowotworowe. Prowadzone są więc liczne badania nad wykorzystaniem fulerenów jako środków kontrastowych. Ponadto, w środku fulereny umieszczono wiele izotopów, otrzymując endohedralne metalofulereny. Częsteczki te cechuje wysoka stabilność oraz brak biotransformacji, co uniemożliwia wydostanie się toksycznych izotopów podczas terapii. Podczas badań nad ich wykorzystaniem zaobserwowano, że cyrkulacja związku we krwi wynosiła ponad godzinę. Po pewnym czasie fulereny zostały prawie całkowicie usunięte z ustroju, nie ujawniając toksyczności w badaniach *in vivo*. Trwają również badania nad zastosowaniem endohedralnych metalofulerenów w obrazowaniu rezonansem magnetycznym [12]. Materiał węglowy na przestrzeni wielu lat sprawdził się nie tylko jako doskonały adsorbent różnych rodzajów trucizn, ale także m.in. jako substancja znacznie zmniejszająca skutki napromieniowania organizmu.

Dzięki temu ten coraz częściej doceniany przez lekarzy i pacjentów materiał zyskał w ostatnich latach na znaczeniu. Zaskakujące odkrycia nanostrukturalnych materiałów węglowych pozwoliły na wprowadzenie ich do laboratoriów XXI wieku, gdzie uważane są za doskonały materiał do badań, którymi zajmuje się nanotechnologia. Nanorurki, nanocząstki, magnetyczne nanocząsteczki, ich możliwości i udoskonalanie ich zastosowań są cały czas przedmiotem badań wielu naukowców [36].

Literatura

- [1] Ali-Boucetta H., Al-Jamal K.T., McCarthy D. i wsp., *Multiwalled carbon nanotube doxorubicin supramolecular complexes for cancer therapeutics*, Chem. Comm. 2008, 8, s. 459-461
- [2] Bandow S., Rao A.M., Williams K.A. i wsp., *Purification of single-wall carbon nanotubes by microfiltration*, J. Phys. Chem. B 1997, 101, s. 8839-8842.
- [3] Baughman R.H., Cui C., Zakhidov A.A. i wsp., *Carbon nanotubes actuators*, Science 1999, 284, s. 1340-1344.
- [4] Bianco A., Kostarelos K., Prato M., *Applications of carbon nanotubes in drug delivery*, Current Opinion in Chemical Biology 2005, 9, s. 674-679.
- [5] Burger M., *Strategies for developing and commercializing nanobio drugs, diagnostics and devices*, Nanomedicine 2007, 2, s. 137-141
- [6] Chen R.J., Bangsaruntip S., Drouvalakis K.A. i wsp., *Noncovalent functionalization of carbon nanotubes for highly specific electronic biosensors*, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 2003, 100, s. 4984-4989.
- [7] Chłopek J., Czajkowska B., Szaraniec B. i wsp., *In vitro Studies of Carbon Nanotubes Biocompatibility*, Carbon 2006, 44, s. 1106-1111.
- [8] Costa S., Borowiak-Paleń E., Bachmatiuk A. i wsp., *Filling of carbon nanotubes for bioapplications*, Phys. Stat. Sol. 2007, 244, s. 4315-4318.
- [9] Cui D., Tian F., Ozkan C.S. i wsp., *Effect of single wall carbon nanotubes on human HEK293 cells*, Toxicol. Lett. 2005, 155, s. 73-85.
- [10] Dobrzańska-Danikiewicz A. D., Łukowiec D., Cichocki D., Wolany W., *Nanokompozyty złożone z nanorurek węglowych pokrytych nanokryształami metali szlachetnych*, Wydział Mechaniczny Technologiczny Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2015.
- [11] Feazell R.P., Nakayama-Ratchford N., Dai H. i wsp., *Soluble single-walled carbon nanotubes as longboat delivery systems for platinum(IV) anticancer drug design*, Am. Chem. Soc. 2007, 129, s. 8438-8439.
- [12] Grabowska J., *Fuleryny - przyszłość zastosowań w medycynie i farmacji*, Gazeta Farmaceutyczna 2008, 6, s. 38-40.
- [13] Hampel S., Kunze D., Hasse D., Kramer K., Rauschenbach M., Ritschel M., Leonhardt A., Thomas J., Oswald S., Hoffmann V., Buchner B., *Carbon nanotubes filled with a chemotherapeutic agent: A nanocarrier mediates inhibition of tumor cell growth*, Nanomedicine (Lond) 2008, 2, 175-182.
- [14] Hebda Marek, Łopata Adrian, *Grafen-materiał przyszłości*, Czasopismo Techniczne, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2012
- [15] Huczko A., Lange H., *Carbon nanotubes: Experimental evidence for anull risk of skin irritation and allergy*, Fullerene Sci. Tech. 2001, 9, s. 247-250.
- [16] Jastrzebska A.M., A.R. Olszyna, *The ecotoxicity of graphene family materials: current status, knowledge gaps and future needs*, J. Nanoparticle Res. 17, 2015.
- [17] Lacerda L., Bianco A., Prato M. i wsp., *Carbon nanotubes as nanomedecines: From toxicology to pharmacology*, Advanced Drug Delivery Reviews 2006, 58, s. 1460-1470.

- [18] Lam C.W., James J.T., McCluskey R. i wsp., *Pulmonary toxicity of singlewall carbon nanotubes in mice 7 and 90 days after intratracheal instillation*, Toxicol. Sci. 2004, 77, s. 126-134.
- [19] Lin Y., Taylor S., Li H. i wsp., *Advances toward bioapplications of carbon nanotubes*, J. Mater. Chem. 2004, 14, 527-541.
- [20] Liu Z., Chen K., Davis C., Sherlock S., Cao Q., Chen X., Dai H., *Drug delivery with carbon nanotubes for in vivo cancer treatment*, Cancer Res. 2008, 68, 16, s. 6652-6660.
- [21] Ma Y., Shen H., Tu X., Zhang Z., *Nanomedicine, Assessing in vivo toxicity of Graphene materials: current methods and future outlook*, Nanomedicine, 2014 vol. 9(10):1565-80.
- [22] Malmsten M., *Soft drug delivery systems*, Soft Matt. 2006, 2, s. 760-769.
- [23] Mielcarek J., Skupin P., *Katedra i Biomedyczne zastosowania i toksyczność nanorurek węglowych*, Zakład Chemii Nieorganicznej i Analitycznej, Uniwersytetu Medycznego im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu.
- [24] Monteiro-Riviere N.A., Nemanich R.J., Inman A.O. i wsp., *Multiwalled carbon nanotube interactions with human epidermal keratinocytes*, Toxicol. Lett. 2005, 155, s. 377-384.
- [25] Pantarotto D., Singh R., McCarthy D. iwsp., *Functionalised carbon nanotubes for plasmid gene delivery*, Angew. Chem. (Int. Ed.) 2004, 43, s. 5242-5246
- [26] Pardała L., Pardała M., *Perspektywy wykorzystania surowców węglowych w innowacjach technologicznych*, Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2011, nr 4, s. 73-86.
- [27] Pastorin G., Wu W., Wieckowski S. i wsp., *Double functionalisation of carbon nanotubes for multimodal drug delivery*, Chem. Commun. 2006, 11, s. 1182-1184.
- [28] Pietrasz J., Różański H., *Perspektywy zastosowania nanorurek węglowych w medycynie*, Herbalism nr 1(1)/2015, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Krośnie.
- [29] Prato M., Kostarelos K., Bianco A., *Functionalized carbon nanotubes in drug design and discovery*, Acc. Chem. Res. 2008, 1, s. 60-68.
- [30] Sayes C.M., Liang F., Hudson J.L. iwsp., *Functionalization density dependence of singlewalled carbon nanotubes cytotoxicity in vitro*, Toxicol. Lett. 2006, 161, s. 135-142
- [31] Shvedova A.A., Kisin E.R., Mercer R. iwsp., *Unusual inflammatory and fibrogenic pulmonary responses to singlewalled carbon nanotubes in mice*, Am. J. Physiol-Lung Cell Mol. Physiol. 2005, 289, s. 698-708.
- [32] Snider R.M., Ciobanu M., Rue A.E., Cliffel D.E., *A multiwalled carbon nanotube/dihydropyran composite film electrode for insulin detection in a microphysiometer chamber*, Anal. Chim. Acta 2008, 609, s. 44-52.
- [33] Telega K., Latocha M., *Nanotechnologia - przyszłość medycyny*, Pol. Merk. Lek. 2012, XXXIII, 196, s. 229-232.
- [34] Wang J., Musameh M., *Electrochemical detection of trace insulin at carbon-nanotube-modified electrodes*, Anal. Chim. Acta 2004, 511, s. 33-36.

- [35] Werengowska K. M., Wiśniewski M., Terzyk A. P., Gurtowska N., Drewa T. A., Olkowska J., *Chemiczne aspekty celowanej terapii przeciwnowotworowej*, cz. II Wiad. Chem. 2012, 66, 7–8, s. 637–670.
- [36] Wisniewski M., Rossochacka P., Werengowska-Ciećwierz K., Bielicka A., Terzyk A.P., Gauden P.A, *Medyczne aspekty nanostrukturalnych materiałów węglowych*, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, 2013, t.16, nr 2, s. 255–261.
- [37] Zapór L., *Zintegrowane strategie badań toksyczności produktów nanotechnologii*, Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy, Warszawa, 2012, nr 4(74), s. 33–40
- [38] Zhang Z., Yang X., Zhang Y. i wsp., *Delivery of telomerase reverse transcriptase small interfering RNA in complex with positively charged singlewalled carbon nanotubes suppresses tumor growth*, Clin. Cancer Res. 2006, 12, s. 4933-4939

Dominika SEMENIUK⁽¹⁾, Julia KLAMEREK⁽¹⁾, Agnieszka DUDZIAK⁽²⁾

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

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

ZASTOSOWANIE ROZWIĄZAŃ KOMPUTEROWYCH W RUCHU KOLEJOWYM

1. Wprowadzenie

Początki ruchu kolejowego moglibyśmy datować na 1804 rok, czyli skonstruowanie pierwszej lokomotywy parowej. Jej twórcą był Richard Trevithick, brytyjski inżynier i wynalazca. Jednak z uwagi na konstrukcję i działanie, za ojca współczesnej lokomotywy uważa się George'a Stephensona, który swoją lokomotywę „Rakieta” skonstruował w 1829 roku. Była to wielka rewolucja w transporcie, konstrukcja parowa była „iskrą” do powstania kolejnych urządzeń, budowli, jak i otoczenia wokół nowo powstałych linii kolejowych. I tak w 1825 roku w Anglii powstała pierwsza linia kolejowa, jej łączna długość wynosiła 19 kilometrów, a maksymalna prędkość 39 km/h. Wraz z tym powstawały co raz to nowocześniejsze lokomotywy, urządzenia, zaczęły rozwijać się tereny wokół nowo powstałych linii i stacji. Z czasem potrzebna była również lepsza, nowocześniejsza i bardziej przystosowana infrastruktura transportu.

1.1. Ręczne sterowanie ruchem

Systemy kierowania i sterowania ruchem kolejowym (ksrk) są podstawowym narzędziem pracy personelu zarządcy infrastruktury w zakresie nadzoru nad ruchem pojazdów poruszających się po sieci kolejowej [11].

Wraz z powstawaniem coraz gęstszych i większych linii kolejowych pojawił się problem kontrolowania ruchu i utrzymania w nim porządku, dlatego postanowiono stworzyć pewnego rodzaju obiekty kontrolujące. Tak powstało ręczne prowadzenie ruchu. Wykorzystywało ono chorągwie i piszczałki, którymi posługiwali się uprawnieni pracownicy kolejowi. A w celu ujednolicenia powstały specjalne sygnały odpowiadające poszczególnym czynnościom, o których miały informować.

Od początku istnienia kolei stosowano urządzenia pozwalające bezpiecznie prowadzić ruch po torach. Z każdym dniem następował rozwój tych urządzeń, rosły stawiane im wymagania, rosły potrzeby i oczekiwania użytkowników, natomiast bez zmian pozostawały podstawowe cele stosowania tych urządzeń, tzn. bezpieczeństwo i sprawność ruchu kolejowego. Właśnie dlatego niezbędne są urządzenia sterowania ruchem kolejowym (srk) [12].

Urządzenia sterowania ruchem kolejowym wraz z rozwojem kolejnictwa doskonaliły swoje rozwiązania techniczne w miarę rosnących potrzeb, wymagań i oczekiwań. Przez kolejne lata systemy srk przechodziły stopniową ewolucję od urządzeń mechanicznych, przez elektromechaniczne, przekaźnikowe, aż do hybrydowych i komputerowych [13].

1.2. Urządzenia mechaniczne

Postęp techniczny spowodował powstanie pierwszego systemu urządzeń służących do prowadzenia ruchu – urządzenia mechaniczne kluczowe. Sposób ten opierał się na przestawianiu uzależnionych urządzeń za pomocą ręcznych napędów, które były trudne do przestawienia. W celu przestawienia zwrotnic, czy też wykolejnic pracownik musiał używać klucza odnoszącego się do danego rozjazdu bezpośrednio na miejscu.

Drugim rodzajem takich urządzeń były urządzenia scentralizowane. Był to dogodniejszy sposób prowadzenia ruchu, ponieważ urządzenia nastawcze znajdowały się w nastawni. Sposób ich funkcjonowania opierał się na przestawianiu uzależnionych urządzeń z pędną drutową za pomocą dźwigni nastawczych.

1.3. Urządzenia elektryczne

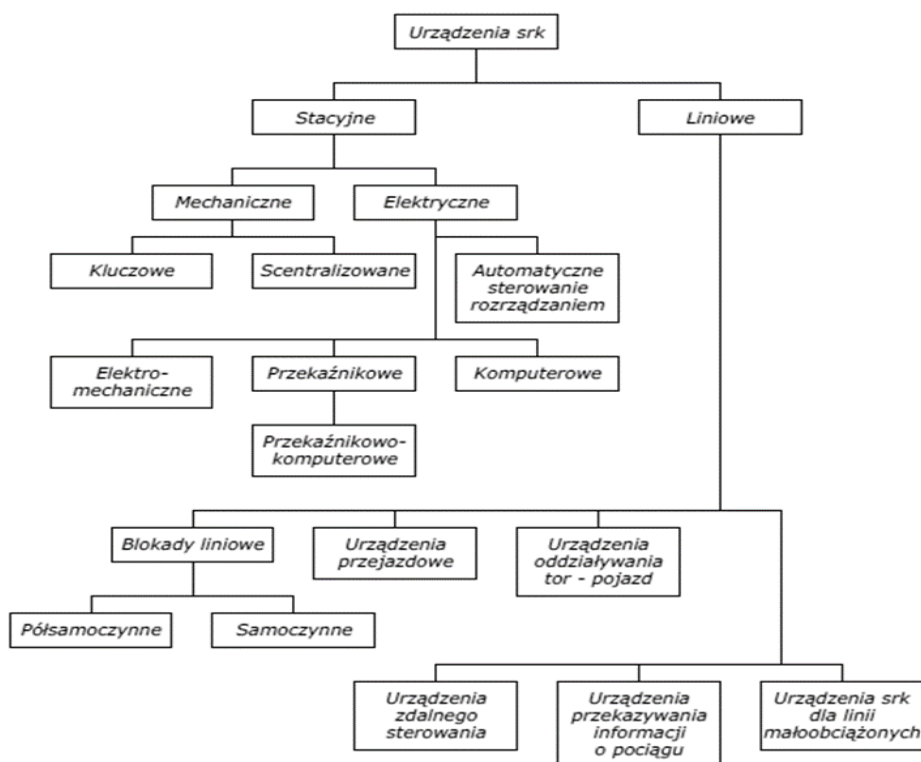
Urządzenia tego typu są najbardziej rozwinięte i funkcjonalne, a tym samym najlepiej przystosowane do obecnych wymagań ruchu kolejowego i rozwoju technologicznego. Powstają również różne połączenia poszczególnych rodzajów urządzeń, jednak najważniejszy jest główny podział. Pierwszy rodzaj tych urządzeń, urządzenia suwakowe, były połączeniem urządzeń mechanicznych i elektrycznych, dlatego nazywane też są urządzeniami elektromechanicznymi. Ich główne zależności realizuje się za pomocą zależności mechanicznych, a napędy zwrotnic i wykolejnic posiadają działanie elektryczne.

Urządzenia przekaźnikowe zdominowały urządzenia mechaniczne i kluczowe, obecnie mają największy procentowy udział w użyciu. Ich działanie jest dosyć proste w porównaniu do poprzednich sposobów, działanie opiera się na planie świetlnym układu torów i pulpicie nastawczym, na którym znajdują się przyciski i przełączniki pozwalające sterować uzależnionymi od nich urządzeniami.

Jako ostatnie pojawiły się urządzenia komputerowe. Jest to najbardziej rozwinięty sposób prowadzenia ruchu. W celu jego sprawnego funkcjonowania powstało specjalne oprogramowanie umożliwiające prowadzenie ruchu. Wszystkie czynności wykonywane przez pracowników w poprzednich sposobach zostały zamknięte w tym systemie, dzięki czemu prowadzenie ruchu na całej stacji odbywa się za pomocą komputera.

2. Klasyfikacja funkcjonalna urządzeń sterowania ruchem kolejowym

Urządzenia sterowania ruchem kolejowym to zestaw urządzeń, na podstawie których prowadzony jest ruch pociągów. Urządzenia te przez lata ewoluowały wykształcając szereg odmian, różniących się konstrukcją i zasadami działania. Większość z tych konstrukcji do dziś możemy spotkać w czynnej służbie na posterunkach ruchu.



Rys. 1. Podział funkcjonalny urządzeń sterowania ruchem kolejowym

Powyższy schemat prezentuje główny podział urządzeń srk ze względu na ich funkcjonalność. Urządzenia stacyjne służą do prowadzenia ruchu w obrębie posterunków zapowiadawczych, a liniowe na szlaku.

W 2012 roku przeprowadzono badania sprawdzające procentowy udział danego typu urządzeń, który przedstawia następujące wyniki zwrotnie uzależnionych w urządzeniach:

1. mechaniczne:
 - kluczowe (10%),
 - scentralizowane (32%),
2. elektryczne:
 - elektromechaniczne (suwakowe) (7%),
 - przekaźnikowe (43%),
 - przekaźnikowo-komputerowe (hybrydowe) (2%),
 - komputerowe (6%).

Dzięki tym badaniom łatwo można wywnioskować, które z badanych urządzeń najprężniej działają na polskich torach, a tym samym jakie braki występują na polskiej kolei.

2.1. Funkcje urządzeń srk

Jedną z głównych funkcji urządzeń sterowania ruchem kolejowym jest zapewnienie bezpieczeństwa. Dzięki temu, w razie popełnienia błędu przez pracownika, urządzenia blokują czynność powodującą zaistnienie niebezpieczeństwa. Największą skuteczność w tym wypadku wykazują najnowsze i najbardziej rozbudowane urządzenia wyposażone w blokady liniowe.

Z funkcji bezpieczeństwa możemy również wydzielić funkcje kontroli pracowników. Jest ona bardzo ważna ze względu na uzależnienie pracownika od urządzeń oraz urządzeń od pracownika. Ta zależność gwarantuje nam jak najlepsze i najbardziej sprawne prowadzenie ruchu. Jedno bez drugiego nie byłoby w stanie w pełni sprawnie funkcjonować.

Urządzenia sterowania ruchem, a dokładniej blokady liniowe zapewniają większą przepustowość pociągów, usprawniającą funkcjonowanie i płynność ruchu. Wzrost przepustu pociągów korzystnie wpływa na gospodarkę – wzrost przepływu towarów krajowych, czy też międzynarodowych.

3. Lokalne Centrum Sterowania (LCS)

Lokalne Centrum Sterowania to nowoczesny, komputerowy system wspomagający pracę dyżurnych ruchu. Ma na celu zastępowanie wielu różnych urządzeń srk, a tym samym funkcjonalne prowadzenie ruchu.

Lokalne Centra Sterowania pojawiły się w Polsce niedawno, pierwsze takie sposoby prowadzenia ruchu zostały wprowadzone do użytku na polskich torach w 2016 r. Aktualnie stan LCS w Polsce przedstawia się w następujący sposób: 37 czynnych, 11 w budowie lub planowanych oraz 1 zlikwidowany (w Woli Rzędzińskiej).

3.1. Działanie LCS

Działanie tego systemu opiera się na zdalnym sterowaniu, co oznacza, że obsługuje urządzenia na wyznaczonym odcinku linii znajdującymi się nawet w kilkudziesięciu kilometrowych odległościach. Ten system znacznie ułatwia pracę pracownikom kolejowym ze względu na możliwość kontrolowania sytuacji na linii na bieżąco. Dzięki zastosowaniu tego systemu można kilka posterunków ruchu zastąpić jednym zdalnym, który obejmie nad nimi kontrolę oraz przejazdami kolejowymi znajdującymi się pomiędzy tymi posterunkami. Usprawnia on również pracę, dzięki swojej funkcjonalności i łatwemu sposobowi sterowania.

W celu prowadzenia ruchu za pomocą LCS posterunek zostaje wyposażony w szereg monitorów, na których umieszczony jest schemat obsługiwanego odcinka i inne podlegające sterowaniu punkty. Często też taki posterunek ma kontrolę monitorowania obsługiwanego przejazdu kolejowych. Dzięki LCS pracownicy sterują takim odcinkiem za pomocą myszy zamiast rozbudowanych i skomplikowanych urządzeń, nie raz ciężkich w obsłudze. Pozwala to na szybsze i sprawniejsze prowadzenie ruchu.

LCS-y w połączeniu z nowoczesną infrastrukturą oraz taborami stanowią przyszłość dla polskiej kolei, usprawnienie przepustu pociągów, w tego typu rozwiązaniach dorównując w tej dziedzinie innym państwom. Takie połączenie mogłoby sprawnie zastąpić i odciążyć transport drogowy oraz uatrakcyjnić i zwiększyć chęć podróży kolejną.

4. Systemy informacyjne

Systemy informacyjne to programy wspomagające pracę dyżurnych ruchu, w których umieszczone są informacje odnośnie linii, pociągów w formie elektronicznej. Dzięki nim informacje te są aktualizowane na bieżąco. Pozwalają one na sprawną wymianę informacji między pracownikiem a dyspozyturą. Systemy te są pomocne głównie w pracy dyżurnego ruchu, który ma kontrolę nad stacją, a tym samym podlegają mu inni pracownicy, rozporządza on także pociągami przyjeżdżającymi i wyjeżdżającymi z obsługiwanego przez niego stacji, czy posterunku.

4.1. System Ewidencji Pracy Eksploatacyjnej (SEPE)

System Ewidencji Pracy Eksploatacyjnej (SEPE), jest systemem, który gromadzi dane dotyczące obciążenia odcinków linii kolejowych w podziale na kategorie pociągów uruchamianych na sieci PKP PLK S.A. Dzięki zainstalowanym w lokomotywach modułom lokalizacji i integracji z systemem SEPE do PKP PLK S.A. transmitowane są informacje dotyczące położenia pociągu. Transmisja tych danych jest obustronna. Wspomaga on kontrolę przez dyspozyturę płynności ruchu oraz w sytuacji zaburzenia tej płynności, wskazuje jej przyczynę. W przypadku wystąpienia takiej przyczyny informacje o niej są szybko przekazywane pomiędzy wszystkimi zainteresowanymi posterunkami.

4.2. System Wspomagania Dyżurnego Ruchu (SWDR)

System Wspomagania Dyżurnego Ruchu (SWDR) to zestaw dedykowanych aplikacji komputerowych dla potrzeb pracy dyżurnych ruchu. Działanie jego opiera się o system SEPE, który dostarcza mu niezbędnych informacji o pociągach.

K	Nr	Prz. plan.	Prz. rzecz.	Rodz.	Nr poc.	Z kierunku post.	Nr poc.	W kierunku post.	Nr L.	P. zam.	P. obl.	Typ p.	P. T.
✓	15-06 04:11	0	15-06 04:11	TKS		Lisków	332132	Ślemień	462	0.0	0.0		1
✓	15-06 04:21	0	15-06 04:21	MPS		Borek	43100	Ślemień	462	1.0	1.0	ph	11
✓	15-06 04:32	0	15-06 04:32	TPE		Lisków	631370	Ślemień	462	0.0	0.0		1
✓	15-06 04:35	0	15-06 04:35	MPE	36101	Ślemień		Lisków	463	1.0	1.0	ph	11
✓	15-06 05:08	0	15-06 05:08	ROJ	36221	Ślemień		Lisków	463	0.5	1.0	ph	11
✓	15-06 05:22	0	15-06 05:22	EIE		Lisków	6304	Ślemień	462	0.0	0.0		11
✓	15-06 05:24	0	15-06 05:24	PXE	365301	Ślemień		Lisków	463	0.0	0.0		1
✓	15-06 05:49	0	15-06 05:49	ROJ		Lisków	63220	Ślemień	462	0.5	1.0	ph	11
✓	15-06 06:07	0	15-06 06:07	ROJ	36223	Ślemień		Lisków	463	0.5	1.0	ph	11
✓	15-06 06:28	0	15-06 06:28	ROJ		Lisków	63222	Ślemień	462	0.5	1.0	ph	11
✓	15-06 06:33	0	15-06 06:33	MPE	36103	Ślemień		Lisków	463	1.0	1.0	ph	11
✓	15-06 06:36	0	15-06 06:36	APM		Borek	43220	Ślemień	462	0.5	1.0	ph	11
✓	15-06 06:48	0	15-06 06:48	TLS		Borek	432800	Ślemień	462	0.0	0.0		1
✓	15-06 06:51	0	15-06 06:51	APM	34221	Ślemień		Borek	462	0.5	1.0	ph	11
✓	15-06 06:56	0	15-06 06:56	ROJ		Lisków	63224	Ślemień	462	0.5	1.0	ph	11
✓	15-06 07:00	0	15-06 07:00	ROJ	36225	Ślemień		Lisków	463	0.5	1.0	ph	11
✓	15-06 07:23	0	15-06 07:23	TMS		Borek	463702	Lisków	463	12.0	17.0	pt	1
✓	15-06 07:26	0	15-06 07:26	TDE	361621	Ślemień		Lisków	463	0.0	0.0		1

Rys. 2. Przykładowy obraz z SWDR w oparciu o aplikację ISDR

Dzięki tej aplikacji pracownicy kolejowi mają stały dostęp do danych o pociągach oraz informacji o rozkładzie jazdy i jego realizacji (kursowanie pociągów, opóźnienia, uwagi). Każde oznaczenie w tym systemie oznacza inną informację o pociągu, tj. kolory tła, ramek.

5. Sygnalizacja

Na liniach kolejowych stosuje się sygnały, za pomocą których przekazywane są nakazy polecenia wykonania czynności związanych z ruchem pociągów, wykonywaniem manewrów taboru kolejowego, bezpieczeństwem ruchu, mienia kolejowego i osób. Sygnały te mogą być: nadawane przez sygnalizatory przytorowe, przekazywane przez stałe lub przenośne tarcze lub latarnie, dawane przez osoby do tego uprawnione, umieszczone na taborze kolejowym.

Stosuje się również wskaźniki, które spełniają taką samą rolę jak sygnały i dzielą się na: zwrotnicowe, ogólnoeksploatacyjne, dotyczące zelektryfikowanych linii kolejowych i systemu ERTMS/ETCS. Wszystkie sygnalizatory umieszcza się ze prawej strony toru lub nad nim [1].

5.1. Semafor

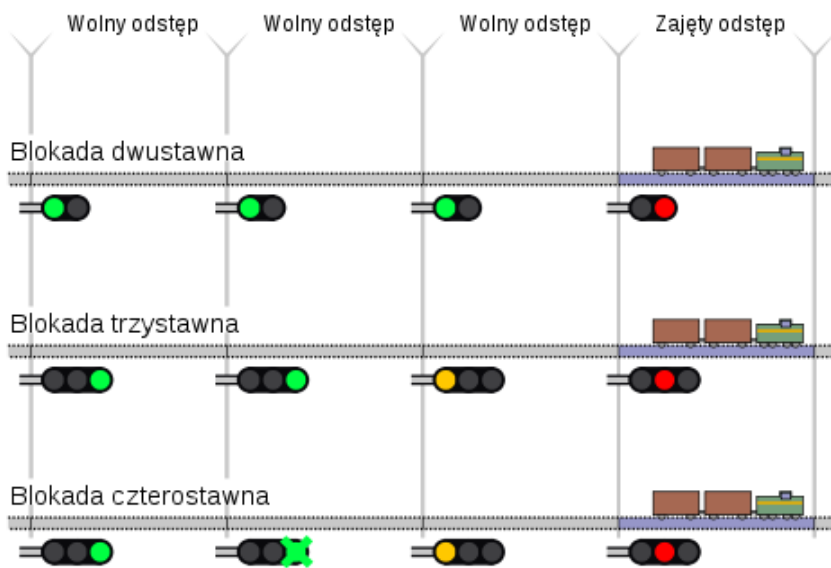
Semafor dzielimy na kształtowe i świetlne. Semafor kształtowy w zależności od ilości ramion są jedno- lub dwuramienne. Semafor te nadają sygnały za pomocą odpowiedniego ułożenia ramion w porze昼iennej i dodatkowo światłami w porze nocnej. Natomiast semafor świetlny zbudowane są z głowicy, która znajduje się na słupie zwanym masztem. W zależności od typu semaforów nadaje się sygnały koloru: czerwonego, zielonego, pomarańczowego, niebieskiego lub białego. Mogą posiadać one od jednej do sześciu komór świetlnych a także pod głowicą może być umieszczony pas świetlny koloru zielonego lub pomarańczowego [2].

Kolory masztów są zależne od tego w jaką blokadę liniową wyposażony jest szlak. Maszty pomalowane są na kolor biały, gdy na szlaku występuje samoczynna blokada, natomiast semafor półsamoczynnej blokady są pomalowane w poziome, czerwono-białe pasy [1].

5.2. Samoczynna blokada liniowa

Jest to blokada, której działanie jest automatyczne i kontrolowane przez dyżurnych ruchu stacji, między którymi została zainstalowana. Dzięki temu, że dzieli ona szlak na odstępy, na których w jednym momencie może znajdować się jeden pociąg, na całym szlaku może znajdować się tyle pociągów ile jest odstępów, dzięki temu na szlaku może znajdować się większa ilość pociągów, zwiększona jest także ich przepustowość. W Polsce blokadę tą dzieli się na: dwustawną, trzystawną i czterostawną. Zależy to od ilości sygnałów jaką można podać, w zależności od rodzaju blokady. Na blokadzie dwustawnej mogą być wyświetlone tylko dwa sygnały, analogicznie dla pozostałych blokad [3].

Pracownicy stacji widzą stan zajętości odcinków dzięki aparaturze kontrolno-sterowniczej. Współpracuje ona z odcinkami izolowanymi torów, dzięki temu możliwe jest wykrywanie zajętości odcinków przez tabor, na skutek tego na semaforach wyświetlają się odpowiednie sygnały. Odcinki izolowane to podział szyn na niezależne od siebie fragmenty. Tabor, który przez nie przejeżdża zwraca zestawami kołowymi izolowane toki szyn [2].



Rys. 2. Samoczynna blokada liniowa

6. Przejazdy kolejowe

Przejazdy kolejowe dzielą się według sześciu kategorii, które zależą od rodzaju drogi i szlaku kolejowego jaki ją przecina a także od iloczynu ruchu, który oblicza się na podstawie pomiarów natężenia ruchu drogowego i kolejowego. Przejazdy kategorii:

A – zabezpiecza się rogatkami obsługiwanymi zdalnie lub na miejscu;

B i C – zabezpiecza się poprzez stosowanie samoczynnej sygnalizacji przejazdowej świetlnej wraz z dwoma lub czterema półrogatkami;

D – nie stosuje się urządzeń zabezpieczania ruchu drogowego, przed takim przejazdem stawiany jest tzw. krzyż św. Andrzeja ewentualnie znak „STOP” informujący o przejeździe;

E – są zabezpieczone za pomocą rogatki, furtek, ogrodzenia z kołowrotkami lub barierek;

F – to przejazdy niepubliczne, które zabezpiecza się stale zamkniętymi rogatkami, które są obsługiwane przez użytkownika drogi [2].

6.1. Samoczynna sygnalizacja przejazdowa

Do urządzeń samoczynnej sygnalizacji przejazdowej zalicza się: rogatki, sygnalizatory drogowe, urządzenia oddziaływania (czujniki, obwody torowe), urządzenia sterujące oraz urządzenia zdalnej kontroli. Włączenie sygnałów ostrzegawczych i uruchomienie rogatki następuje samoczynnie po wykryciu najeżdżającego pociągu przez urządzenia w torze. Włączenie ostrzegania powinno następować nie wcześniej niż 90 i nie później niż 30 sekund przed wjazdem pociągu na przejazd.

Ze względu na technologię jaką zastosowano można wyróżnić urządzenia samoczynnej sygnalizacji przejazdowej: przekaźnikowe, przekaźnikowo-elektroniczne i komputerowe. Urządzenia przekaźnikowe wykorzystują układy przekaźników, początkowo wykorzystywane w nich były proste czujniki pneumatyczne, jednak one często zawodziły dlatego zastąpiono je czujnikami magnetycznymi. Układ oddziaływania składa się z trzech czujników, dwóch włączających, które umieszczone są w pewnej odległości od przejazdu i jednego wyłączającego umieszczonego na przejeździe. W urządzeniach przekaźnikowo-elektronicznych (hybrydowych) oprócz przekaźników stosowano elementy elektroniczne, które stopniowo zaczęły wypierać przekaźniki. System opiera się na działaniu czterech zestawów: sterującego, kontrolno-wykonawczego, zasilającego i bezpiecznikowego. W urządzeniach komputerowych wykorzystywane są czujniki, dzięki którym po najeździe na nie pociągu najpierw włączane jest ostrzeganie, następnie wyświetlany jest odpowiedni sygnał na tarczach ostrzegawczych przejazdowych i następuje zamknięcie rogatki. Gdy pociąg zjedzie z czujników następuje otwarcie rogatki i wygaszenie sygnałów świetlnych [4].

7. Nowoczesne pojazdy kolejowe

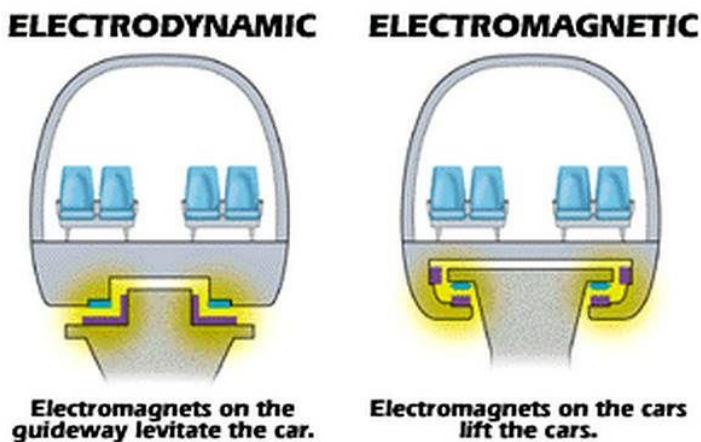
Obecnie istnieje wiele technologii, które pozwalają pociągom na osiąganie dużych prędkości. Niektóre z nich osiągają prędkość nawet 600 km/h dzięki zastosowaniu technologii przyciągania lub odpychania magnetycznego. W pociągach wykorzystujących te technologie nie ma silnika, przemieszcza się on dzięki polu magnetycznemu. W Polsce pociągi osiągają prędkość do max. 200 km/h.

7.1. Maglev

Jest to super szybka, magnetyczna kolej japońska. Wykorzystuje technologię EDS (unoszenie przez odpychanie). Wykorzystane są dwa zestawy magnesów, które zastąpiły tradycyjne tory. Jeden zestaw odpycha pojazd od toru a drugi sprawia, że pojazd się porusza. Są one ulokowane po bokach torowiska na całej długości. Unoszą one pociąg w korytarzu powietrznym 10 mm nad torem i sprawiają, że pociąg jedzie ciszej i szybciej. Podczas rozpędzania i hamowania pociąg musi podpierać się na dodatkowych kołach. Magnesy te kontrolują prędkość pojazdu. Pojazdy te osiągają większe prędkości, dzięki braku tarcia kół. nawet 603 km/h (rekord na torze testowym w mieście Yamanashi, Japonia).

7.2. Transrapid

Jest to kolej magnetyczna dużych prędkości. Wykorzystana jest tu technologia EMS (unoszenie przez przyciąganie). Podwozie pociągu ukształtowane jest w taki sposób, by sięgać pod tor i jest przyciągane do niego, dzięki czemu pociąg się unosi. Odległość między torem a pojazdem jest bardzo mała, pociąg wykorzystujący tą technologię nie musi posiadać dodatkowych kół. Rozwijana jest ona w Niemczech, a jedyna komercyjna linia znajduje się w Chinach, natomiast pociąg został wyprodukowany w Niemczech. Największa prędkość osiągnięta przez Transrapid wynosi 550 km/h.



Rys. 3. System EDS i EMS

7.3. TGV

Jest to kolej dużych prędkości we Francji. Początkowo do napędzania pociągów wykorzystywano turbiny gazowe. Jednak później zaczęto pracować

nad napędami całkowicie elektrycznymi. Pobierają one energię elektryczną z napowietrznej sieci trakcyjnej. Wszystkie pociągi TGV mogą być zasilane dwoma różnymi napięciami i są wyposażone w dwie pary pantografów, jedną do współpracy z siecią prądu stałego, a drugą dla sieci prądu przemiennego. Osiągają prędkość do 320 km/h, jednak rekord wynosi 574,8 km/h. System zarządzający pociągiem składa się z 18 komputerów połączonych siecią zwaną TORNAD. Zarządza ona pracą systemów pociągu i dostarcza obsługę informacji o usterkach. Komputery te są oparte na mikroprocesorach MC68020 przedsiębiorstwa Motorola a ich oprogramowanie jest napisane w języku Ada.

8. Podsumowanie

Nowoczesne systemy komputerowe w znacznym stopniu ułatwiają pracę w ruchu kolejowym. Posiadają system podpowiedzi i komunikatów także możliwość rejestracji wszystkich czynności wykonanych przez pracownika a oraz stanów alarmowych urządzeń. Dzięki takim urządzeniom można wykonywać czynność nie wstając od stanowiska. Nie trzeba wychodzić na zewnątrz, czy przekładać ciężkich dźwigni aby ułożyć drogę dla pociągu. Na ekranie komputera widać stan zajętości torów, system sam podpowiada, które polecenia mają być w danej chwili wykonane. Dzięki rejestracji czynności wykonanych przez pracownika można w prosty sposób stwierdzić czy wszystkie zasady prowadzenia ruchu zostały zachowane np. żeby stwierdzić z czyjej winy był wypadek. W pociągach TGV komputery przekazują informację o powstałych usterkach co też jest bardzo pomocne. Język, którym zostało napisane oprogramowanie do tych komputerów jest stosowany do aplikacji wymagających wysokiej niezawodności działania.

Pomimo wielu zalet urządzeń komputerowych, jak każda technologia posiada także wady. Budowa każdego LCS powoduje zamknięcie kilku nastawni, ponieważ obsługuje on większy obszar. W skutek tego potrzebna jest mniejsza ilość pracowników i dochodzi do zwolnień. Przez to, że jedna osoba musi obsługiwać większy obszar, zwiększa się odpowiedzialność. Jak w każdym systemie może dochodzić do awarii. W przypadku awarii komputera podstawowego, dostępny jest komputer rezerwowy. Koszt dostosowania nastawni do takich urządzeń jest dość wysoki, ponieważ trzeba ją całkowicie do nich dostosować. Bardzo często w wielu przypadkach buduje się nową nastawnię.

Literatura

- [1] Jarocki J., *Podstawy Ruchu Kolejowego*, Biała Podlaska, Arte, 2017.
- [2] *Ir-1 Instrukcja o prowadzeniu ruchu pociągów*, PKP PLK S.A., 2011.
- [3] *Ir-13 (R-23) Instrukcja dla dyspozytora zarządcy infrastruktury kolejowej*, PKP PLK S.A., 2015.
- [4] *Ie-1 (E-1) Instrukcja sygnalizacji*, PKP PLK S.A., 2016.
- [5] <http://www.transportszynowy.pl/index.php> (dostęp 15.04.2020).
- [6] <https://www.bsk.isdr.pl/index.php> (dostęp 15.04.2020)
- [7] <https://www.plk-sa.pl> (dostęp 18.04.2020)
- [8] <https://portalpasazera.pl> (dostęp 23.04.2020)
- [9] <https://www.rynek-kolejowy.pl> (dostęp 23.04.2020)
- [10] <https://www.czasopismologistyka.pl/artykuly-naukowe/send/-/4773> (dostęp 26.04.2020).
- [11] Kochan, A., *System pokładowy w modelu warstwowym systemu kierowania i sterowania ruchem kolejowym*, Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne, 2015.
- [12] Dyduch, J., Kornaszewski, M., *Nowe systemy w zarządzaniu ruchem kolejowym w Polsce*, Przegląd Komunikacyjny, 72, 2017.
- [13] Kornaszewski M., *Współczesne systemy sterowania ruchem kolejowym w Polsce*. LOGISTYKA 3/2014.

Daria STEFAŃCZAK

Politechnika Lubelska, Studenckie Koło Naukowe Elektroników MicroChip

PROJEKT PROTEZY KOŃCZYNY GÓRNEJ STEROWANEJ SYGNAŁEM EM

1. Wstęp

Według danych statystycznych, aż 3 miliony osób utraciło kończynę górną, bądź nie posiada jej wskutek wad wrodzonych [1]. Dysfunkcja ta powoduje, iż czynności życia codziennego stają się wyzwaniem. Ponadto, sama utrata kończyny niesie za sobą często skutki psychiczne. Poprawienie jakości życia oraz przezwyciężenie ograniczeń w takich przypadkach jest możliwe dzięki prężnie rozwijającej się dziedzinie, jaką jest protetyka. Podjęto wiele prób opracowania protezy kończyny górnej. Na rynku pojawiły się również protezy wykonane przy użyciu druku 3D. Ważne jest, aby spełniały one wymagania, takie jak wytrzymałość, niska waga oraz komfort w użytkowaniu.

Spośród dostępnych na rynku protez kończyny górnej wyróżnić można protezy czynne oraz bierne. Znacznie bardziej funkcjonalne protezy, to te należące do pierwszej grupy. Zaliczyć można do nich protezy sterowane mechanicznie oraz za pomocą sygnałów bioelektrycznych pochodzących z aktywnych mięśni człowieka. Badanie czynności elektrycznej mięśni i nerwów nazwane zostało elektromiografią (EMG). Sygnały te są możliwe do przechwycenia, między innymi, z powierzchni skóry. Do pozyskania w ten sposób sygnału EMG stosowane są elektrody, które są naklejane na powierzchnię skóry [2]. Surowe sygnały EMG nie nadają się jednak do bezpośredniego pozyskiwania informacji z powodu dużej ilości zakłóceń. Szum, w tym przypadku, jest definiowany jako sygnały elektryczne, które nie są częścią pożądanego sygnału EMG. Na jakość sygnału wpływają zakłócenia biologiczne oraz zakłócenia pochodzące ze źródeł technicznych [3]. Dlatego też niezbędne jest przetworzenie sygnału, zanim zostanie on użyty do sterowania protezą.

W projekcie do sterowania protezą kończyny górnej wykorzystano sygnał EMG. Za pomocą komponentów elektronicznych zrealizowane zostanie sterowanie ruchem paliczków. Ważnym aspektem przy projektowaniu protezy mioelektrycznej jest połączenie funkcjonalności z estetyką wykonania. Dlatego też istotna jest dbałość o wygląd, w jak największym stopniu anatomicznie zbliżony do naturalnej kończyny. Dzięki tak powstałemu projektowi protezy, możliwe będzie zapewnienie podstawowego zakresu

ruchomości osobie nieposiadającej kończyny górnej. Stosunkowo niski koszt oraz prostota w obsłudze takiej protezy, może przyczynić się do poprawy komfortu życia osoby z wcześniej wspomnianą dysfunkcją.

2. Cel projektu

Projekt zakłada zbudowanie prototypu protezy elektronicznej kończyny górnej sterowanej sygnałem EMG. Zaprojektowane zostaną paliczki, śródręcze z nadgarstkiem oraz części przedramienia. Część mechaniczna zostanie wykonana za pomocą techniki druku 3D. Jej główną funkcją jest zapewnienie podstawowego zakresu ruchomości kończyny górnej. Sygnał zostanie pobrany za pomocą sondy i podany na wejście mikrokontrolera, a następnie przetworzony. Wymagane jest aby, proteza była wytrzymała, a zarazem lekka oraz prosta w obsłudze.

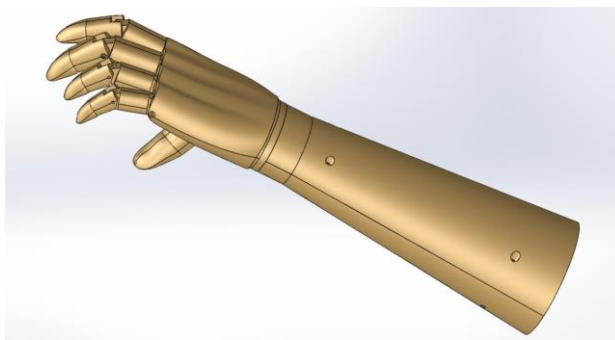
3. Założenia projektowe

Projekt polega na stworzeniu protezy mioelektrycznej lewej kończyny górnej. Opiera się on na elementach mechanicznych wykonanych za pomocą druku 3D oraz komponentach sterujących opartych o mikrokontroler. Wymiary i waga każdej protezy powinny zostać indywidualnie do użytkownika. Budowa kończyny powinna być jak najbardziej zbliżona do budowy anatomicznej. Wymiary paliczek, nadgarstka, śródręcza oraz części przedramienia są odpowiednie dla człowieka płci męskiej o wadze 80 kg i wzroście 190 cm. Na podstawie dostępnej literatury (siatki centylowe) oraz prawej kończyny, opracowano wymiary protezy. Jednym z głównych założeń projektu protezy mioelektrycznej jest sterowanie oparte o sygnał EMG pobrany z mięśni tej kończyny górnej. Wymagane jest, aby pobieranie sygnału odbywało się w sposób nieinwazyjny. Dlatego do tego celu należy użyć elektrod powierzchniowych. Podczas doboru komponentów ważne jest, aby ich waga była jak najmniejsza, ze względu na zdrowie użytkownika. Niewłaściwa waga protezy może przyczynić się do wad postawy. Technika wykonania także wpływa na wagę. Dlatego część mechaniczna zostanie zrealizowana za pomocą techniki druku 3D. Zapewnia to niską wagę oraz mały koszt elementów modelu ręki. Dlatego też wymiary poszczególnych elementów nie mogą przekraczać wymiarów stołu roboczego drukarki 3D. Ponadto, wszystkie komponenty powinny być tanie i dostępne na rynku. Kolejnym założeniem projektowym jest nieskomplikowana obsługa urządzenia. Korzystanie z niej powinno być intuicyjne. Założono, że wszystkie paliczki będą zaciskały się w jednym

momencie, co sprawi, iż do sterowania protezą wymagane jest pobranie sygnału tylko z jednego mięśnia. Ważnym aspektem przy projektowaniu protezy mioelektrycznej jest połączenie funkcjonalności z estetyką wykonania. Dlatego też istotna jest dbałość o wygląd w jak największym stopniu zbliżony do naturalnej kończyny.

4. Część mechaniczna protezy

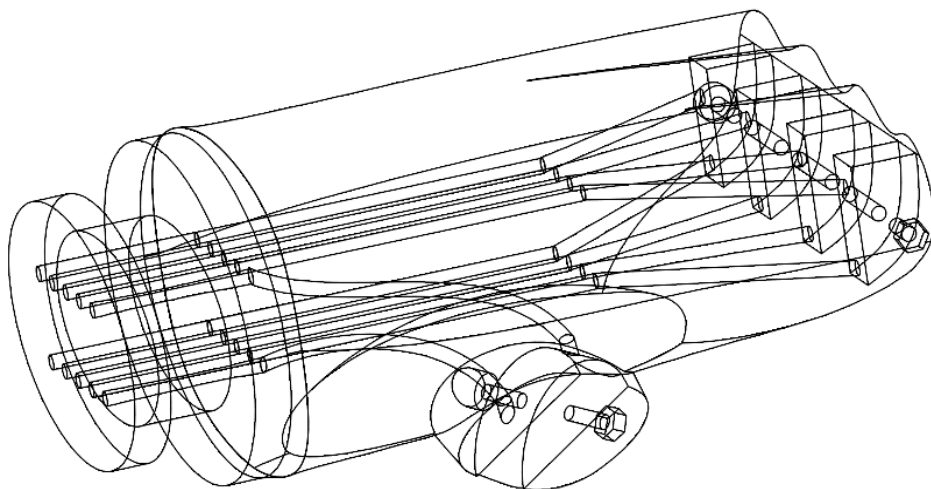
Stworzenie modelu protezy zostało wykonane w programie Solid Edge. Zaprojektowano 12 części: dwie części przedramienia, nadgarstek ze śródręczem, kciuk, 4 paliczki bliższe oraz 4 połączone paliczki środkowe z dalszymi (Rys.1).



Rys. 1. Projekt protezy

Zaprojektowanie mechanizmu, który umożliwia ruch palców jest jednym z kluczowych części projektu. Począwszy od paliczków, aż po nadgarstek wycięte zostały kanały, w których znajdować się będzie żyłka (kanał dolny), spełniająca rolę cięgien, oraz gumki (kanał górny), które pełnią rolę odwodzenia paliczków (Rys. 2). Sam ruch zapewni silnik, dzięki któremu na wał przekładni silnika zostanie nawinięta żyłka wychodząca z każdego palca.

Przedramię zostało zaprojektowane w taki sposób, by możliwe było umieszczenie w środku elementów zasilania, przetwarzania sygnału oraz sterowania. Łączenie poszczególnych elementów wykonane jest za pomocą śrub, na które zostały zaprojektowane wycięcia w zawiasach. Śruby M2×20 zostaną wykorzystane do połączeń paliczków. Połączenie zaprojektowanych palców ze śródręczem zrealizowano za pomocą pręta gwintowanego. Podczas dobierania wymiarów zawiasów należało uwzględnić dostępność na rynku śrub, zapewnić miejsce na nakrętki. Dodatkowo, wymiary zawiasów powinny być na tyle duże, aby przy użytkowaniu protezy nie uległy zniszczeniu.



Rys. 2. Projekt śródreżcza i nadgarstka z widocznymi kanałami

5. Dobór komponentów

W celu zrealizowania założeń projektowych zaistniała potrzeba zamodelowania układu elektroniczno-mechanicznego. Do wygenerowania niezbędnych sygnałów sterujących potrzebny jest czujnik EMG oraz układ pomiaru prądu przepływającego w obwodzie silnika. Do sterowania całym procesem potrzebna jest jednostka nadrzędna w postaci mikrokontrolera. W nim przetwarzane są pobierane sygnały na podstawie których zapada decyzja o ruchu protezy. Elementem wykonawczym jest silnik, który wymaga sterownika w postaci Mostka H. Dodatkowe zabezpieczenie stanowi zabezpieczenie krańcowe.

5.1. Źródło zasilania

Jako źródło zasilania w projekcie wykorzystano ogniwo, przy wyborze którego kierowano się następującymi wytycznymi:

- duża gęstość mocy,
- napięcie na zaciskach minimum 5 V,
- małe wymiary,
- wysoka klasa bezpieczeństwa.

Zasada działania ogniwa opiera się na przetwarzaniu energii pochodzącej z reakcji chemicznej na energię elektryczną. Na rynku dostępne są dwa rodzaje ogniw: pierwotne i wtórne czyli akumulatory. Różnica polega na tym, iż w ogniwach pierwotnych, zachodzące reakcje chemiczne są nieodwracalne.

Konsekwencją tego jest fakt, że takie ogniwa są nieładowalne. W ogniwach wtórnych reakcja chemiczna jest odwracalna, więc mogą być one wielokrotnie użytkowane i ponownie ładowane. Na rynku dostępne są akumulatory litowo-jonowe, kwasowo-ołowiowe, litowo-polimerowe, niklowo-metalowo-wodorowe oraz niklowo-cynkowe. Kluczowym czynnikiem, którym kierowano się przy wyborze źródła zasilania była gęstość mocy. Oznacza to skumulowanie dużej ilości energii w stosunkowo małym ciężarze i rozmiarach. Największą gęstość mocy spośród dostępnych źródeł energii posiadają ogniwa litowo-polimerowe. Nie zastosowano jednak takiego ogniwa ze względu na niski poziom bezpieczeństwa przy użytkowaniu. Opakowanie typu pouch w jakich najczęściej znajdują się ogniwa litowo-polimerowe charakteryzuje się niskim poziomem bezpieczeństwa przy bezpośrednim kontakcie z ciałem człowieka. Taki rodzaj obudowy jest również skłonny do odkształceń. Pod wpływem dużej temperatury oraz dużej ilości cykli ładowania i rozładowywania takie ogniwo ma tendencje do niebezpiecznego powiększania swojej objętości potocznie nazywanego puchnięciem. Fakt ten dyskwalifikuje zastosowanie ogniwa pouch litowo-polimerowego w protezycie. Analizując wszystkie parametry i właściwości dostępnych akumulatorów wybrano ogniwo litowo-jonowe (Li-Ion) w obudowie 14500. Ten rodzaj akumulatorów łączy dużą gęstość mocy przy jednoczesnej wysokiej klasie bezpieczeństwa. Ponadto, wybrany model posiada zabezpieczenia przez przeładowaniem, nadmiernym rozładowaniem, przeciążeniem oraz przed zwarcie. Stanowi to znaczne ułatwienie w budowie części zasilania protezy. Nie jest konieczne stosowanie zabezpieczenia przed głębokim rozładowaniem ogni. Wpływa to bardzo korzystnie na wymiary oraz cenę protezy. Zastosowanie takiego ogniwa dodatkowo chroni użytkownika, a także sprzęt przed awarią oraz wydłuża jego żywotność. Pojemność użytego pojedynczego ogniwa wynosi 800 mAh, a masa to zaledwie 21 g. Napięcie nominalne pojedynczego ogniwa Li-on wynosi 3,7 V. W projekcie użyto dwóch ogniw połączonych szeregowo za pomocą koszyczka, co zapewnia napięcie znamionowe 7,4 V, a tym samym spełnia wymóg napięcia minimalnego. Użycia koszyczka pozwala na bezproblemową wymianę ogni po rozładowaniu, co jest niezbędne dla użytkownika.

5.2. Układ sterowania

Elementem wykonawczym pozwalającym na ruch paliczek protezy jest silnik elektryczny. Spośród dostępnych silników elektrycznych, których rozmiary i masa pozwala na zastosowanie w tego typu projekcie wyróżnić można: silniki szczotkowe (DC), bezszczotkowe (BLDC), krokowe oraz serwonapędy. Podczas wyboru silnika należy rozpatrzyć wady i zalety każdego z nich. Silnik BLDC charakteryzuje się prostą budową mechaniczną, a w konsekwencji długotrwałą i bezawaryjną pracą. Niestety, w porównaniu

do silnika szczotkowego (DC) sterowanie jest dużo bardziej skomplikowane pod względem oprogramowania, jak i elementów elektronicznych. Ponadto, niewątpliwą wadą silnika BLDC jest wysoki koszt oraz duża masa. Silniki krokowe pozwalają na precyzyjne określenie położenia, jednak ich sterowanie jest skomplikowane. Wadą, która wyklucza użycie tego rodzaju silnika do sterowania mechanicznymi częściami protezy jest duży pobór prądu. Serwonapędy zapewniają precyzyjną pracę, jednak ich cena jest wysoka, a sterowanie jest bardziej skomplikowane w porównaniu ze sterowaniem silnikiem DC.

Głównym wymaganiem podczas opracowywania prototypu protezy były jej wymiary oraz waga. Ważne jest, by miała naturalny kształt oraz korzystanie z niej było komfortowe. Dlatego też bardzo dużą uwagę zwrócono na dobór elementów sterujących. Do ruchu elementów mechanicznych (palczków) należało użyć silnika o małych wymiarach, małej masie, stosunkowo dużym momencie obrotowym oraz prostym sposobie sterowania. Dlatego też do tego celu wykorzystano silnik prądu stałego wraz z przekładnią (180:1) wyposażoną w sprzęgło.

Dzięki takiemu rozwiązaniu uzyskano wyjściowy moment obrotowy na poziomie 0,2 Nm. Prędkość obrotowa silnika przy znamionowym napięciu zasilania wynosi 80 obr/min. Taka prędkość obrotowa pozwala użytkownikowi na zareagowanie i ewentualne przerwanie procesu zamykania bądź otwierania protezy w momencie wystąpienia komplikacji. Wewnętrzne sprzęgło chroni silnik, przekładnię oraz części mechaniczne protezy przed uszkodzeniem. Masa zastosowanego silnika wynosi zaledwie 19 g. Znamionowe napięcie zasilania silnika równe jest 4,5 V. Producent silnika w nocie katalogowej zamieszcza informację o tym, że w bezpieczny sposób silnik można zasiląć napięciem do 6 V. Prędkość obrotowa silnika zmienia się liniowo wraz ze wzrostem napięcia na zaciskach silnika. Dzięki temu istnieje możliwość zasilenia silnika napięciem równym 5 V. Takim napięciem zasilany jest również mikrokontroler oraz dodatkowe obwody peryferyjne. Ułatwia to dobór rodzaju zasilania oraz minimalizuje konieczność korzystania z pomocniczych obwody zasilania. Do zmiany kierunku obrotów silnika użyto układu elektronicznego w postaci mostka H.

5.3. Układ przetwarzania sygnału

Kontrolowanie silnika elektrycznego za pomocą sygnałów bioelektrycznych możliwe jest dzięki zastosowaniu czujnika do pomiaru aktywności mięśni EMG. Na rynku dostępne są czujniki, które wymagają zastosowania elektrod biomedycznych z przewodami, oraz takie, które umożliwiają ich bezpośrednie podłączenie. Coraz większą popularność zyskuje także bransoleta Gforce Gest, w której sondy są już wbudowane. Użytkowanie

jej polega na umiejscowieniu bransolety jak najbliżej części nadgarstkowej. Dzięki sensorom ruchu oraz czujnikom EMG możliwe staje się rozróżnienie nawet 6 różnych gestów ręki [4]. Zastosowanie tego rozwiązania do protezy kończyny górnej jest możliwe jedynie w przypadku umieszczenia bransolety na uszkodzonej kończynie, aby nie ograniczać ruchu kończyną zdrową. Stopień utraty nie może więc być duży. Konieczne jest także, aby użytkownik miał dobrze wykształcone mięśnie w utraconej części kończyny, ponieważ bransoleta wykorzystuje potencjał mięśni do generowania sygnału. Komunikacja bransolety opiera się na łączności bezprzewodowej Bluetooth, co wymaga dodatkowego modułu do mikrokontrolera. Zasilana jest za pomocą wbudowanego ogniwa, pozwalającego na dziesięciogodzinną pracę. Wymaga to czasu na ponowne naładowanie, w którym niemożliwa staje się praca protezy. Stosowne jest więc zastosowanie czujnika wymagającego elektrod. Najbardziej uniwersalnym rozwiązaniem jest czujnik z możliwością podłączenia elektrod powierzchniowych z przewodami. Spośród czujników do pomiaru EMG dostępnych na rynku spełniających wymogi projektowe wybrano czujnik Muscle Sensor Platinum v3. Komponent ten umożliwia zbadanie potencjału mięśni, wzmocnienie sygnału, a następnie przesłanie go w postaci analogowej do dowolnego mikrokontrolera z przetwornikiem analogowo-cyfrowym. Do zasilenia modułu wymagane jest napięcie symetryczne z zakresu od ± 3 V do ± 30 V. Producent zamieszcza w nocie katalogowej informację, iż napięcie nominalne wynosi ± 5 V.

W celu połączenia wszystkich komponentów elektronicznych ze sobą zaprojektowano dodatkową płytkę PCB na której zostały zawarte niezbędne obwody do działania całego układu. Projekt stworzono w programie KiCad. Jest to narzędzie na licencji open source, co czyni go dostępnym dla każdego.

Schemat można podzielić na kilka części, które mają określone zadania. Pierwszym elementem jest stabilizator napięcia. Napięcie zastosowanych ogniw wynosi około 7,4 V, zaś potencjał jakim należy zasilić zastosowane układy oraz mikrokontroler wynosi 5 V. Dlatego też użyto stabilizator liniowy, który ma za zadanie utrzymywać napięcie wyjściowe na poziomie 5 V, pod warunkiem, że na jego wejście jest podane napięcie nie mniejsze niż 5 V i nie większe niż 35 V. Maksymalny prąd wyjściowy wynosi 1,5 A. Między wejściem układu a masą dodatkowo został podłączony kondensator filtrujący 330 nF zgodnie z zaleceniami producenta. Między wyjściem a masą również podłączono kondensator filtrujący, o pojemności 100 nF. Wartości pojemności kondensatorów, sposób ich podłączenia, zakres napięć wejściowych oraz maksymalny prąd wyjściowy zaczerpnięto z noty katalogowej producenta [5].

Następnym elementem jest układ scalony L293DD. Zasada jego działania opiera się on na podwójnego mostka H, co umożliwia sterowanie kierunkiem obrotów silnika. Mostek H jest układem elektronicznym, który zmienia biegunowość napięcia przyłożonego do obciążenia [6]. Jego zasada działania

bazuje na zmianie kierunku przepływu prądu. Załączenie dwóch odpowiednich styków, którymi mogą być przełączniki lub tranzystory, wymusza przepływ ładunków w pożądanym kierunku.

Zastosowany układ jest w stanie obsłużyć dwa silniki jednocześnie. Do potrzeb projektu wykorzystano połowę jego możliwości. Do układu należało podłączyć zasilanie (+5 V), napięcie zasilania silnika, oraz trzy sygnały:

- enable – sygnał włączający układ,
- input_1 – sygnał wymuszający obroty silnika w prawą stronę,
- input_2 – sygnał wymuszający obroty silnika w lewą stronę.

Sygnały opisane powyżej wysyłane są z mikrokontrolera. Układ ten posiada również dwa wyjścia, do których podłączony jest zastosowany silnik.

Kolejną częścią schematu jest układ do pomiaru prądu pobieranego przez silnik. Dzięki temu można oszacować obciążenie silnika. Jest to informacja pozwalająca stwierdzić czy elementy mechaniczne protezy działają poprawnie lub czy pomiędzy paliczkami a śródręczem znajduje się jakiś przedmiot. W tym celu w obwodzie zasilania układu L293DD wstawiono rezystor pomiarowy o rezystancji 500 mΩ. Na podstawie prawa Ohma wyliczono, że spadek napięcia na rezystorze wyniesie około 40 mV. Sygnał o tak małej amplitudzie podany na wejście przetwornika analogowo-cyfrowego w mikrokontrolerze mierzony jest z małą dokładnością. Dlatego też wzmacniono sygnał tak, aby jego wartość przy maksymalnym obciążeniu wynosiła 3 V. W tym celu zastosowano układ ze wzmacniaczem różnicowym INA146UA. Wzmocnienie układu wyznaczono za pomocą dwóch rezystorów o rezystancji odpowiednio $R_2=10,2\text{ k}\Omega$, $R_3=1\text{ M}\Omega$. W celu poprawnego działania układu podłączono kondensatory filtrujące o pojemności 100 nF. Wartości pojemności kondensatorów, sposób ich podłączenia, sposób podłączenia rezystorów oraz sposób doboru ich wartości zaczerpnięto z noty katalogowej producenta [7].

Ostatnią częścią schematu jest układ zasilania czujnika EMG. Czujnik ten do poprawnego działania potrzebuje zasilania symetrycznego. Według producenta najbardziej preferowanym rozwiązaniem jest zasilanie go napięciem $\pm 5\text{ V}$. Zagwarantowanie symetrycznego napięcia niesie za sobą pewne problemy. Rozwiązaniem najłatwiejszym jest skonstruowanie źródła zasilania o dwukrotnie wyższym napięciu oraz zastosować sztuczną masę. Rozwiązanie to niesie za sobą potrzebę zwiększenia wymiarów źródła zasilania. Drugą wadą jest to, że dodatnia część źródła zasilania będzie dodatkowo obciążana przez układ mostka H, układ pomiaru prądu oraz mikrokontroler. Sprawi to, iż źródło zasilania będzie obciążane niesymetrycznie. Mogłoby to spowodować przesunięcie się punktu odniesienia sygnału EMG. Drugim rozwiązaniem jest zastosowanie tak zwanej pompy ładunku. Rozwiązanie to opiera się na układzie scalonym TPS60403 oraz 3 kondensatorach o pojemności 1 uF odpowiednio podłączonych do wyprowadzeń.

Pracę układu, można podzielić na dwa półcykle. Podczas pierwszego półcyklu przełączniki S1 i S3 w postaci tranzystorów są zamknięte, a przełączniki S2 i S4 są otwarte. Sprawia to, że prąd przepływa przez kondensator C(fly). Stan ten trwa do momentu w którym kondensator C(fly) zostanie naładowany. Drugi półcykl następuje gdy przełączniki S2 i S4 w postaci tranzystorów są zamknięte, a przełączniki S1 i S3 są otwarte. Doprowadza to do sytuacji, w której dodatnia do tej pory okładka kondensatora łączy się z masą przez przełącznik S2. Powoduje to, że potencjał odniesienia jest wyższy o VI (napięcie wejściowe) od potencjału na wyjściu układu. W ten sposób otrzymano napięcie o ujemnej wartości.

Na zaprojektowanej płytce znalazły się również złącza J1- złącze sygnałowe, które należy odpowiednio podłączyć do mikrokontrolera. Znajdują się tam wszystkie sygnały wejściowe i wyjściowe oraz GND (masa). Złącze J2 jest to wyprowadzenie, do którego należy podłączyć źródło zasilania. W złączu J3 wyprowadzono sygnały do elementu wykonawczego w tym przypadku silnika. Złącze J4 jest miejscem wyprowadzenia zasilania dla mikrokontrolera. Złącza J5 i J6 odpowiadają odpowiednio za zasilanie symetryczne czujnika EMG oraz przesył pobranego sygnału z mięśni.

Opracowana płytką PCB (Rys. 3) wykonana została na dwóch warstwach. Jej wymiary wynoszą 44 mm × 37 mm. Wykorzystano elementy elektroniczne SMD, które można w łatwy sposób zamontować powierzchniowo. Wykorzystane złącza wykonane są w technologii THT. Spowodowane jest to ich większą wytrzymałością mechaniczną oraz mniejszym prawdopodobieństwem uszkodzenia ścieżek.



Rys. 3. Wykonana płytką PCB

Według założeń projektowych do kontrolowania protezy potrzebowano jednostki nadrzędnej, która przetwarza sygnały wejściowe oraz na ich podstawie podaje według ściśle określonego algorytmu. Jednostka nadrzędna powinna być małych wymiarów, charakteryzować się niskim poborem energii, gwarantować dostęp, podgląd danych wejściowych i wyjściowych w czasie rzeczywistym. Urządzeniem, które spełnia opisane wymagania jest mikrokontroler. Ilość urządzeń spełniających te wymagania jest duża.

W układzie do sterowania rozważano zastosowanie modułu Arduino. Wyposażone są one w układ megaAVR. Do tej rodziny zaliczane są między innymi procesory ATmega8, ATmega168, ATmega328, ATmega1280 oraz ATmega 2560. Zaletą tej rodziny mikrokontrolerów jest niewątpliwie ich cena, dostępność oraz powszechne wsparcie ze strony producenta oraz innych użytkowników. Podobnym dostępnym na rynku urządzeniem są mikrokontrolery z rodziny Raspberry Pi. Ich praca opiera się głównie o system linux. Oferują duże możliwości, ich peryferia są w znacznym stopniu rozbudowane, co wiąże się z wyższą ceną. Niestety opisanych układów nie stosuje się w rozwiązaniach komercyjnych. Zostały stworzone w celach dydaktycznych, naukowych i amatorskich. Dlatego też ze względu na charakter projektu, bezpieczeństwo użytkownika postanowiono zrezygnować z wykorzystania tego rodzaju rozwiązań.

Wśród producentów podzespołów na rynku znajduje się Texas Instruments. Firma ta oferuje mikrokontrolery, które przeznaczone są do zastosowań przemysłowych. LAUNCHXL-F28027 z serii C2000 Piccolo LaunchPad to mikrokontroler wyposażony w procesor Piccolo TMS320F28027. Jedną z funkcji, która jest niezbędna do projektu, jest możliwość pracy w czasie rzeczywistym z programem Matlab Simulink. Dzięki temu, możliwa staje się analiza programu, kalibracja układu, odpowiednie umieszczenie sond oraz zmiana parametrów w czasie rzeczywistym. Dodatkowo, mikrokontroler ten posiada izolowany emulator XDS100 JTAG dla łatwego programowania i debugowania. Ponadto zapewniona kompatybilność z pakietem Simulink poprzez narzędzie Embedded Coder Support Package for Texas Instruments C2000 Processors Umożliwia ono tworzenie schematów blokowych, które są konwertowane na język C. Dzięki temu tworzenie i implementacja kodu do mikrokontrolera jest szybka i łatwa. Wszystkie wyżej opisane zalety sprawiły, iż zastosowano ten mikrokontroler w projekcie, ponieważ spełnia on wszystkie założenia projektowe. Ponadto jego korzystna cena także jest zaletą.

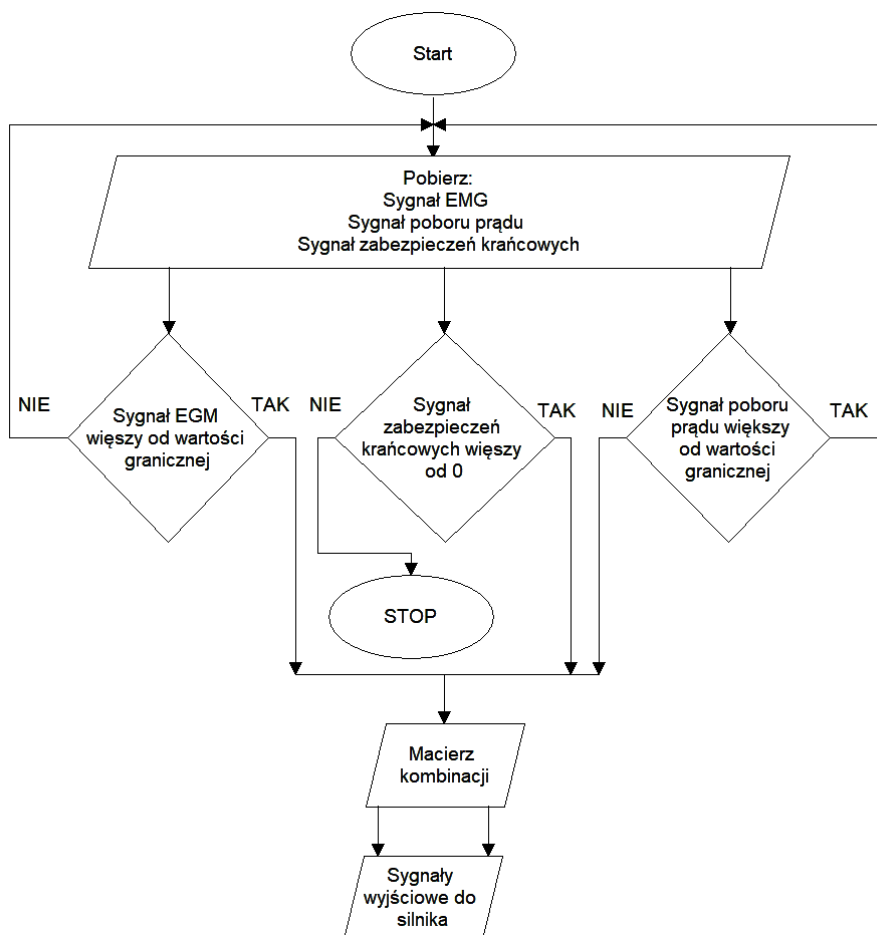
5.4. Algorytm sterowania

Opisane wcześniej narzędzia pozwalają i ułatwiają opracowanie algorytmu sterowania. Jest on niezbędny do pracy protezy. W nim zadeklarowane są warunki i czynności jakie powinny być wykonane. Algorytm bazuje na założeniach. W przypadku tego projektu założono, że sterowanie opiera się na dwóch sygnałach oraz zmysłem wzroku użytkownika. Pierwszym sygnałem jest sygnał EMG pobrany z mięśni, drugim zaś sygnał uzyskany z pomiaru prądu przepływającego przez silnik DC. Dzięki ich wartościom wiadomo kiedy użytkownik postanowi zmienić chwyt protezy, oraz kiedy obciążona jest w maksymalny bezpieczny sposób. Proteza w porównaniu do naturalnej kończyny różni się wyglądem oraz tym, że nie możliwe jest korzystanie ze

zmysłu dotyku. To dzięki niemu jesteśmy w stanie stwierdzić jakiej siły należy użyć, by utrzymać dany przedmiot. W celu zapewnienia tej funkcji w protezie użyto zmysłu wzroku oraz informacji o natężeniu prądu przepływającego przez silnik. W tym przypadku pomiar prądu na silniku informuje nas o użytej sile nacisku. Na podstawie tej informacji w bezpieczny sposób możemy unieść kubek bez ryzyka uszkodzenia protezy bądź kubka. Dodatkowo, użyto dwóch zabezpieczeń w postaci mechanicznych wyłączników krańcowych, które zabezpieczają ruchome części protezy przed ich nadmiernych wychyleniem. Sekwencja sterowania odbywa się według schematu: Skurcz mięśnia, z którego pobrany jest sygnał, powoduje zwiększenie amplitudy sygnału EMG. Jeżeli sygnał pomiaru prądu nie przekracza wartości granicznej następuje generowanie sygnału do mostka H, co skutkuje rozpoczęciem zamykania dłoni. Stan ten trwa do momentu, kiedy amplituda sygnału EMG zmniejszy się poniżej wartości zadanej, wartość prądu pobieranego przez silnik przekroczy wartość graniczną lub zadziała zabezpieczenie krańcowe. Ponowny skurcz mięśnia spowoduje ponowne rozpoczęcie sekwencji, lecz tym razem dłoń zacznie się otwierać.

Implementacja stworzonego algorytmu odbywa się za pomocą oprogramowania Matlab, a dokładnie za pomocą pakietu Simulink. Wykorzystanie tego oprogramowania pozwoliło zasymulować działanie całego układu. Poniżej przedstawiono algorytm sterowania w formie schematu blokowego (Rys. 4).

Na podstawie symulacji stworzono program sterujący. Oprogramowanie Matlab Simulink zawiera dodatkowe narzędzie, które umożliwia automatyczną generację kodu bezpośrednio na mikrokontroler. Zastosowany mikrokontroler oraz środowisko Simulink pozwalają na odczyt i zmianę parametrów w czasie rzeczywistym. Jest funkcja niezwykle pomocna, ponieważ dzięki niej w szybki i dokładny sposób można skalibrować urządzenie. Po umiejscowieniu sond można odczytać potencjał, a w konsekwencji jaką amplitudę sygnału jest w stanie wygenerować użytkownik. Na podstawie tej informacji dobiera się próg załączania.



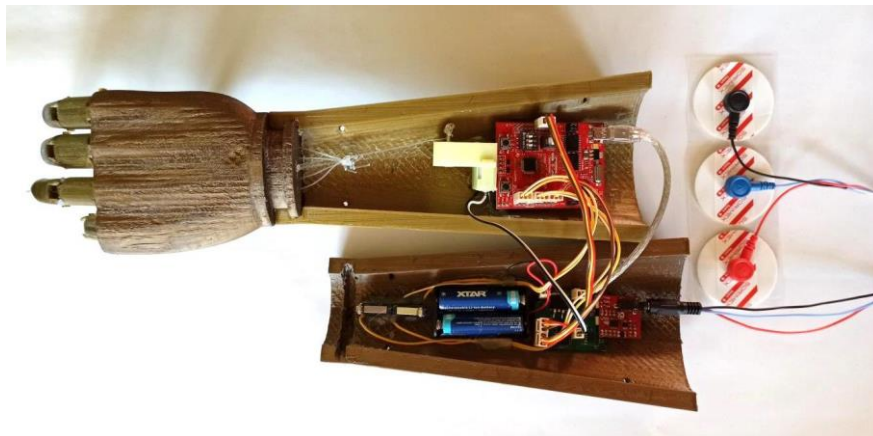
Rys. 4. Schemat blokowy algorytmu sterowania

6. Realizacja praktyczna

Ostatnim etapem w realizowanym projekcie było zmontowanie i testowanie całego układu. Połączono wszystkie podzespoły i umieszczono je w wydrukowanej części przedramienia. Elementy, które zostały zaimplementowane w protezie to:

- mikrokontroler,
- silnik DC,
- zasilanie w postaci ogniw Li-Ion w koszyczku,
- zabezpieczenia krańcowe,

- płytka PCB zawierająca mostek H, stabilizator napięcia, układ do pomiaru prądu pobieranego przez silnik oraz układ zasilania czujnika EMG,
- czujnik EMG z wyprowadzonymi sondami powierzchniowymi (Rys. 5).



Rys. 5. Proteza ze zmontowanymi podzespołami

Ponadto, w zaprojektowanych kanałach w palczkach oraz śródręczu przeprowadzono system żyłek, nawijanych na wał przekładni silnika, które umożliwiają wykonanie chwytu protezą. Znajdują się tam także gumki, dzięki którym możliwe jest odwodzenie palczków. Wyprowadzone z palczków żyłki oraz gumki zostały zawiązane (Rys. 6).



Rys. 6. Wyprowadzony system żyłek

Do montażu elementów elektroniki użyto kleju na gorąco. Dzięki temu zewnętrzna część przedramienia jest opływowa i nie zawiera żadnych wystających elementów (Rys. 7).

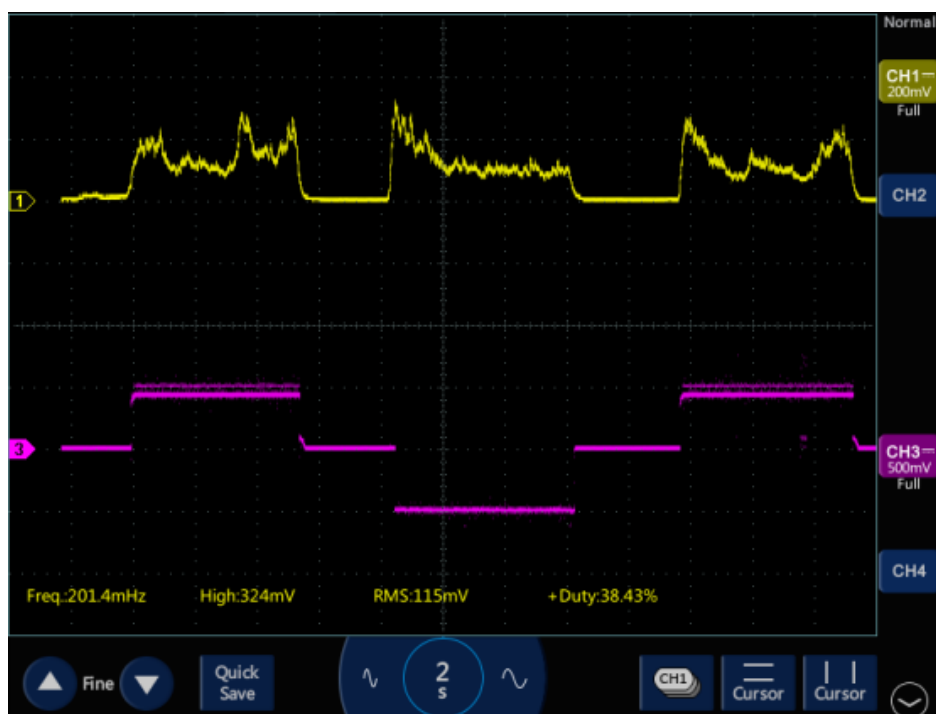


Rys. 7. Wykonana proteza kończyny górnej

Do badań użyto elektrod pomiarowych EK-S 30 PSG firmy SORIMEX. Są to elektrody jednorazowego użycia. Jest to produkt wykonany z elastycznej pianki polietylenowej, pozbawionej lateksu i PVC. Zmniejsza to ryzyko wystąpienia uczulenia. Warstwa klejąca elektrody to hipoalergiczny klej zabezpieczony folią, którą należy usunąć bezpośrednio przed użyciem. Elektroda jest wyposażona w przyłącze Ag/Cl, dzięki któremu możliwe jest podłączenie przewodów przekazujących pobierane sygnały. Średnica elektrod to 30 mm [8]. Umieszczenie elektrod zostało zrealizowane zgodnie z zaleceniami producenta czujnika EMG.

7. Badania

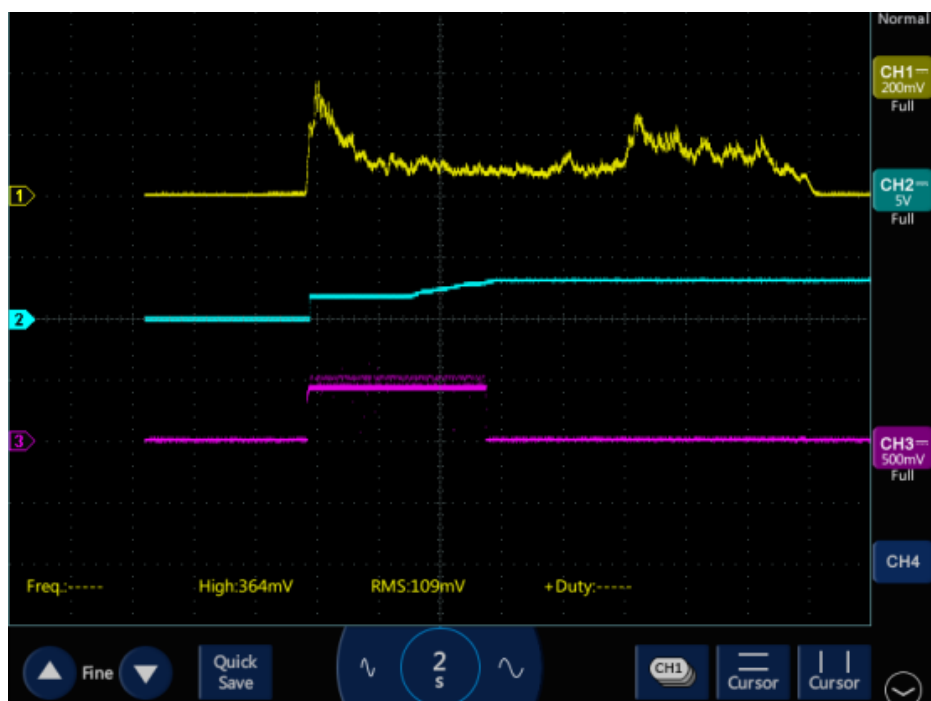
Przeprowadzono badania symulacyjne, w programie Matlab Simulink. Ich zadaniem było sprawdzenia działania algorytmu. Podczas symulacji zmieniano wartości zmiennych wejściowych oraz obserwowano, jaki mają wpływ na zmienne wyjściowe. Wykonano pomiary potwierdzające działanie układu z wykorzystaniem apertury pomiarowej w postaci oscyloskopu. Pomiaru dokonano na wejściu i wyjściu układu, przy nieobciążonym silniku. Pierwszą sondę (kolor żółty) podłączono na wyjściu zastosowanego czujnika EMG zaś drugą (kolor fioletowy) na zaciskach silnika. Otrzymane wyniki przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Oscylogram zależności napięcia na wyjściu czujnika EMG (kolor żółty) oraz napięcie sterującego silnikiem (kolor fioletowy) w dziedzinie czasu

Na przedstawionym oscylogramie zapisano dwa sygnały. Pierwszy sygnał otrzymano na wyjściu wzmacniacza EMG. Drugi sygnał odwzorowuje parametry wyjściowe układu. Jednoznacznie można stwierdzić, iż w momencie pojawienia się i utrzymania wyraźnego przyrostu wartości sygnału EMG na wyjściu układu zarejestrowano zmianę amplitudy z 0 V na 5 V. Wartość graniczną sygnału określa się na podstawie uzyskanych wyników podczas kalibracji protezy pod konkretnego użytkownika. Natomiast w momencie, gdy sygnał EMG powraca do wartości wyjściowej napięcie na zaciskach silnika zanika. Po ponownym wzroście amplitudy sygnału EMG napięcie wyjściowe układu wynosi -5 V. Jest to spowodowane zmianą polaryzacji biegunów silnika. Według warunku algorytmu sterowania proteza ma wykonywać na zmianę ruch otwierania i zamykania ręki.

Drugie badanie, które przeprowadzono miało na celu sprawdzenie poprawności działania układu do pomiaru prądu. W tym celu do trzech punktów podłączono sondy. Pierwszy punkt znajduje się na wyjściu czujnika EMG, drugi na wyjściu układu do pomiaru prądu, zaś trzeci na zaciskach silnika. Poniżej przedstawiono otrzymane wyniki (Rys. 9).



Rys. 9. Oscylogram zależności sygnału na wyjściu czujnika EMG (kolor żółty), prądu silnika (kolor niebieski) oraz napięcia na zaciskach silnika (kolor fioletowy) w dziedzinie czasu

Po zarejestrowanych przebiegach można stwierdzić, iż układ działa poprawnie. W chwili, gdy sygnał pomiaru prądu osiąga wartość graniczną, sygnał na zaciskach silnika zanika pomimo dużej amplitudy sygnału EMG. Świadczy to o tym, że obciążenie silnika osiągnęło wartość maksymalną.

Ostatnim badaniem jest test zabezpieczeń krańcowych. Badanie zostało wykonane przy nieobciążonym silniku. Do trzech punktów podłączono sondy. Pierwszy punkt znajduje się na wyjściu czujnika EMG, drugi na wyjściu układu do pomiaru prądu zaś trzeci w obwodzie zabezpieczenia krańcowego. Poniżej przedstawiono wyniki (Rys. 10).

Po zarejestrowanych przebiegach jednoznacznie można stwierdzić, że zabezpieczenia krańcowe działają. W momencie przerywania sygnału obwodu zabezpieczenia krańcowego (numer 2 kolor niebieski) napięcie na zaciskach silnika spada do wartości 0 V (sygnał numer 3 kolor fioletowy), przy dużej amplitudzie sygnału EMG (sygnał numer 1 kolor żółty).



Rys. 10. Oscylogram zależności sygnału na wyjściu czujnika EMG (kolor żółty), zabezpieczeń krańcowych (kolor niebieski) oraz napięcia na zaciskach silnika (kolor fioletowy) w dziedzinie czasu

8. Podsumowanie

Cel projektu został osiągnięty: zbudowano prototyp protezy elektronicznej kończyny górnej sterowanej sygnałem EMG. Podczas opracowywania projektu zauważono problem z dużym wahaniami amplitudy sygnału EMG. Prawdopodobnie zastosowanie dodatkowych filtrów pasywnych lub filtrów w programie sterującym zniwelowałoby powstałe zjawisko. Dokonano testów i badań mających na celu potwierdzenie działania układu pod względem zarówno elektronicznym, jak i programowym. Zauważono, że umiejscowienie sond w bardzo dużym stopniu wpływa na jakość wygenerowanego sygnału.

W przyszłości należy zoptymalizować umiejscowienie sond, co w znacznym stopniu poprawi działanie protezy. Stosowne byłoby także zaprojektowanie nowego układu z wbudowanym procesorem mikrokontrolera na jednej płycie PCB. Zmniejszyłoby to w znacznym stopniu wymiary i masę co ma kluczowe znaczenie w tego rodzaju projektach. Dodatkowo zauważono, iż zastosowanie drugiego czujnika EMG usprawniłoby działanie protezy. Przejście z sekwencji

otwierania do zamykania byłoby znacznie prostsze i szybsze. Poprawiłoby to również precyzjność chwytu.

Literatura

- [1] Supakitamonphan C., Kitsongsang N., Poohrungrueang P., Chaichana T., *Two-Channel sEMG Controller for Electric Hand Gripper: Amputee Hand Training Device*, International Journal of Electronics and Electrical Engineering, 2016, s. 243.
- [2] Rottermund J., Szary S., Knapik A., *Korzystanie z przedmiotów adaptacyjnych poprawiających funkcję ręki podczas przygotowywania i spożywania posiłków*, Niepełnosprawność – zagadnienia, problemy, rozwiązania. Nr III, 2016.
- [3] Amrutha N., Arul V. H., *A Review on Noises in EMG Signal and its Removal*, International Journal of Scientific and Research Publications, vol. 7, 2018.
- [4] Nota katalogowa układu L293DD (mostek H), <http://www.farnell.com/datasheets/1690387.pdf> (dostęp 20.01.2020).
- [5] Nota katalogowa regulatora napięcia, <https://pl.rs-online.com/web/p/products/7931342> (dostęp 20.01.2020).
- [6] Mostek H, <http://www.advancertechnologies.com/p/muscle-sensor-v3.html> (dostęp 20.01.2020).
- [7] Nota katalogowa układu L293DD (mostek H), <http://www.farnell.com/datasheets/1690387.pdf> (dostęp 20.01.2020).
- [8] Elektroda do EKG, <https://www.dezynfekcja24.com/product-pol-1716-Elektroda-do-EKG-EK-S-30PSG-op-50-szt-dla-dzieci.html> (dostęp 20.01.2020).

Ewa SZCZĘSNA

Politechnika Łódzka

BADANIE WARSTW FOTOREZYSTOWYCH STOSOWANYCH W PROCESACH FOTOLITOGRAFII

1. Wstęp

Fotolitografia jest jednym z najpopularniejszych procesów technologicznych, służących do odwzorowywania kształtów, umożliwiając tym samym produkowanie nowoczesnych przyrządów półprzewodnikowych. Za odkrycie procesu fotolitografii uznaje się rok 1798, podczas którego Alois Senefelder rozpoczął eksperyment początkowo używając kamienia oraz tłustej substancji. Obecnie podczas przebiegu procesu fotolitografii stosuje się fotorezyst, aby maskować i wytrawiać odpowiednie obszary płytki. Podczas naświetlania wzorów wykorzystywane jest promieniowanie optyczne. Dzięki tym czynnikom możliwe jest otrzymanie odpowiednich kształtów obszarów dyfuzyjnych, otworów kontaktowych oraz ścieżek przewodzących. Innymi znanymi odmianami litografii są między innymi litografia rentgenowska, XUV, litografia jonowa oraz litografia elektronowa [1]–[3].

2. Wykonanie struktur testowych

Pierwszym etapem prowadzonych badań było przygotowanie łącznie 21 płytek, poprzez ich oznaczenie, widoczne w tabeli 1. Dodatkowo, w tabeli 1 zostało umieszczone objaśnienie kryteriów według których badane były płytki. Następnie zostały one umieszczone i wygrzewane w piecu dyfuzyjnym przez 15 min. Celem było usunięcie zanieczyszczeń oraz poprawa adhezji podłoża. Po wystygnięciu płytek były one kolejno umieszczane w wirówce.

Tabela 2. Oznaczenie płytek wraz z objaśnieniem zmieniających się parametrów

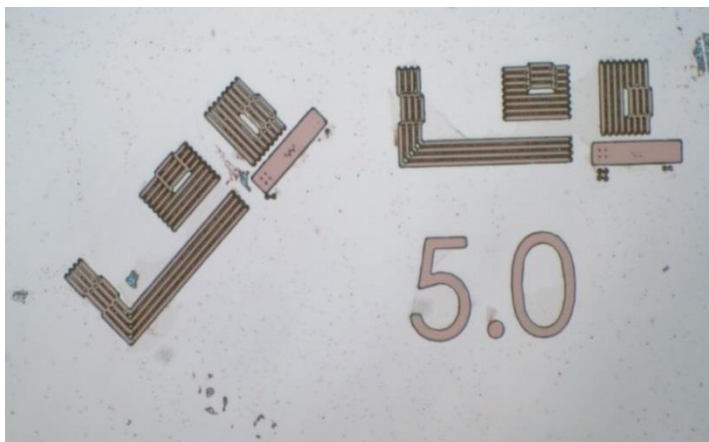
Oznaczenie	Objaśnienie	Opis
PS_1	Zmiana prędkości rozwirowywania fotorezystu	-zmiana ilości obrotów w wirówce co 500rpm
PS_10		-stały czas wynoszący 30s -temperatura wygrzewania wstępnego wynosząca 95°C
PC_1	Zmiana czasu rozwirowywania fotorezystu	-stała ilość obrotów wynosząca 3000rpm
PC_6		-zmiana czasu wzrastająca o 10s -temperatura wygrzewania wstępnego wynosząca 95°C
PT_1	Zmiana temperatury wygrzewania wstępnego fotorezystu	-stała ilość obrotów wynosząca 3000rpm
PT_5		-stały czas wynoszący 30s -temperatura wygrzewania wstępnego wzrastająca o 10°C

Kolejnym krokiem było umieszczenie płytek w „Mask aligner” w celu odpowiedniego wycentrowania i naświetlenia. Do tego procesu została użyta maska Resolution Test, aby możliwe było zauważenie zmian zachodzących na podłożach. Dalszym etapem była kąpiel w wywołyvaczu, w celu usunięcia zbędnego fotorezystu oraz w wodzie dejonizowanej w celu oczyszczenia płytki. Następnie próbki były osuszane poprzez użycie sprężonego powietrza. Przed dalszymi krokami procesu płytki zostały skontrolowane przy użyciu mikroskopu optycznego. Na tym etapie można było określić również jak dla różnych płytek wygląda ich rozdzielczość. Po obserwacji zmian na podłożach została zbadana grubość fotorezystu. Początkowo do tego celu został wykorzystany elipsometr. Ze względu na brak informacji o współczynniku załamania światła badanego fotorezystu oraz długości fali niezbędnej do określenia grubości warstwy ostatecznie został użyty profilometr, który dzięki połączeniu ze specjalnie dedykowanym programem zobrazował profil płytki. Po zbadaniu płytek kolejnym krokiem było umieszczenie próbek w specjalnych uchwytach umieszczanych w komorze próżniowej, w celu ich naparowania. Do naparowania płytek została użyta 1µm warstwa aluminium. Prędkość rozwirowania wynosiła około 12 A/s, a całkowity czas tego etapu wynosił około 15 minut. Kolejnym etapem było usunięcie warstwy metalu poprzez wykorzystanie myjki ultradźwiękowej. Po usunięciu warstwy aluminium ostatnim krokiem było użycie mikroskopu do obserwacji zmian jakie zaszły podczas wykonanych wszystkich etapów procesu fotolitografii.

3. Prędkość rozwirowywania fotorezystu

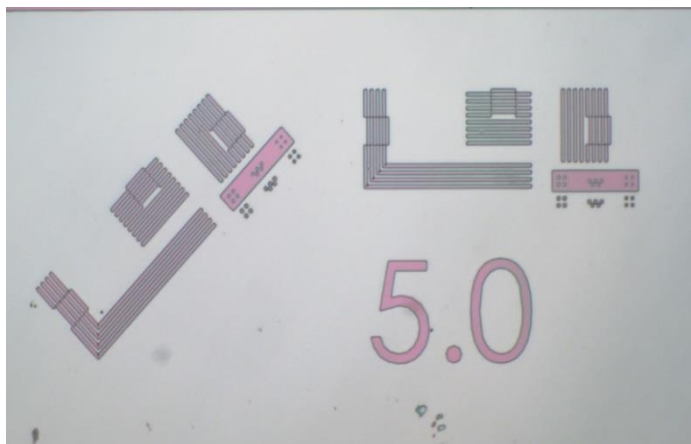
W pierwszym etapie badana była grubość warstwy fotorezystu oraz rozdzielczość naświetlonych elementów. W związku z dużą ilością płytek przedstawiam dwa skrajne przypadki (PS_1, PS_10). Na widocznej, na rysunku 1, płytce PS_1 można dostrzec niską rozdzielczość naświetlonych wzorów.

Dodatkowo występowały problemy w trakcie procesu wywoływania. Płytki musiały spędzić dużo czasu w wywoływaczu ze względu na grubą warstwę fotorezystu.



Rys. 1. Widok kształtu 5 μm na płytce PS_1

Najlepszą rozdzielczość można zauważyć na płytce PS_10 widniejącej na rysunku. 2. Proces wywołania również przebiegł bez większych problemów. Biorąc pod uwagę ten etap procesu można wywnioskować, że im cieńsza warstwa fotorezystu tym rozdzielczość odwzorowanych kształtów jest lepsza.

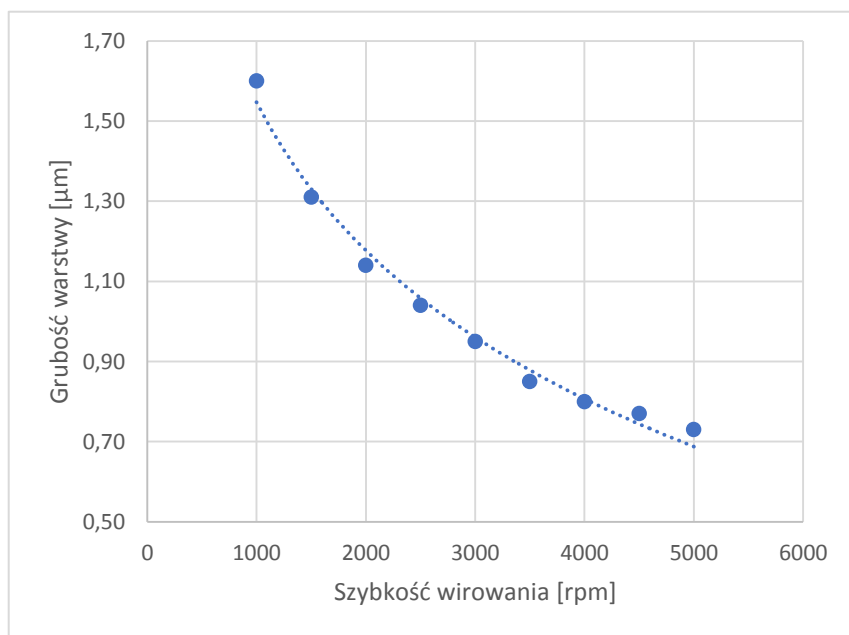


Rys. 2. Widok kształtu 5 μm na płytce PS_10

Po przebadaniu grubości warstw fotorezystu na wszystkich płytkach widoczny jest na rysunku. 3 spadek grubości wraz ze wzrostem prędkości wirowania próbek w wirówce. Zbadane grubości warstw zostały przedstawione w tabeli 2.

Tabela 3. Zmiana grubości warstwy biorąc pod uwagę prędkość wirowania

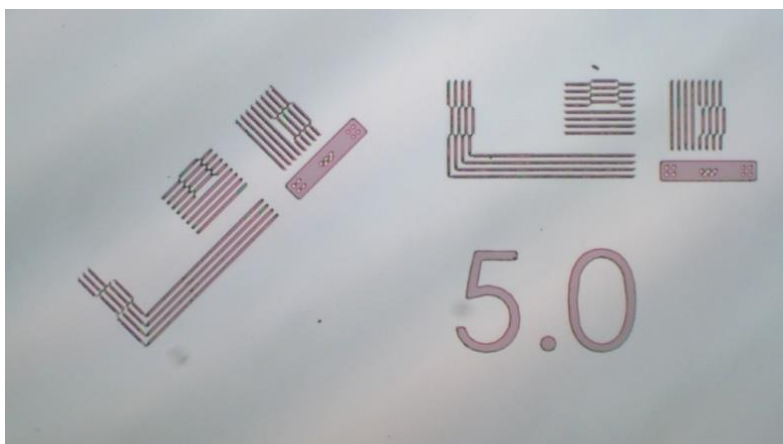
Szybkość wirowania[rpm]	Grubość warstwy[μm]
500	2,64
1000	1,60
1500	1,31
2000	1,14
2500	1,04
3000	0,95
3500	0,85
4000	0,80
4500	0,77
5000	0,73



Rys. 3. Wpływ prędkości wirowania na grubość warstwy fotorezystu

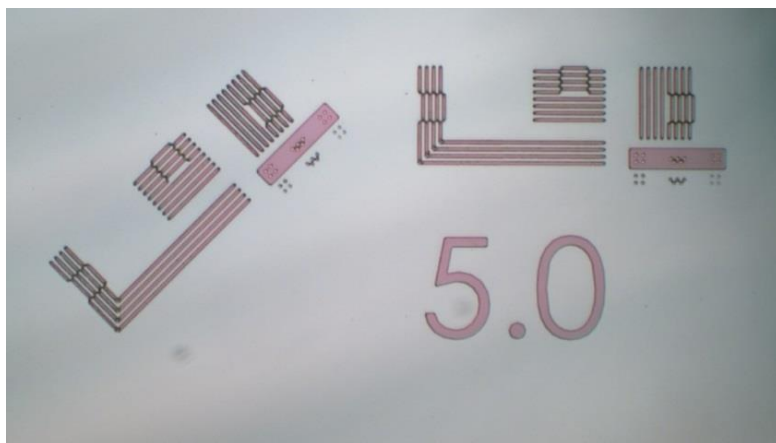
4. Czas rozwirowywania fotorezystu

Kolejnym badanym parametrem był czas, podczas którego płytki były rozwirowane. Liczba obrotów, podczas tych badań, była stała i wynosiła 3000. Na rysunku 4 można zauważyć zniekształcone kształty. Powodem tego efektu jest gorszy proces wywoływania niż w przypadku pozostałych płytek.



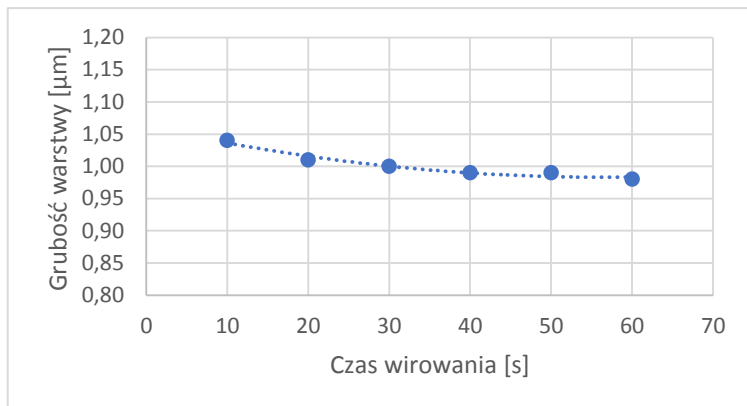
Rys. 4. Widok kształtu 5 μm na płytce PC_1

Podczas wirowania w czasie 60 sekund na płytce PC_6 można dostrzec wyraźne linie, bez większych zniekształceń, również proces wywoływania nie był problematyczny. Ukazane zostało to na rysunku 5.



Rys. 5. Widok kształtu 5 μm na płytce PC_6

Na rysunku 6 oraz w tabeli 3 można zauważyć nieznaczny wpływ czasu wirowania na grubość warstwy fotorezystu, która oscyluje koło $1\mu\text{m}$. W związku z tym dalsze działanie na tych płytkach zostało wstrzymane.



Rys. 6. Wpływ czasu wirowania na grubość warstwy fotorezystu

Tab. 4. Zmiana grubości warstwy biorąc pod uwagę czas wirowania

Czas wirowania[s]	Grubość warstwy[μm]
10	1,04
20	1,01
30	1,00
40	0,99
50	0,99
60	0,98

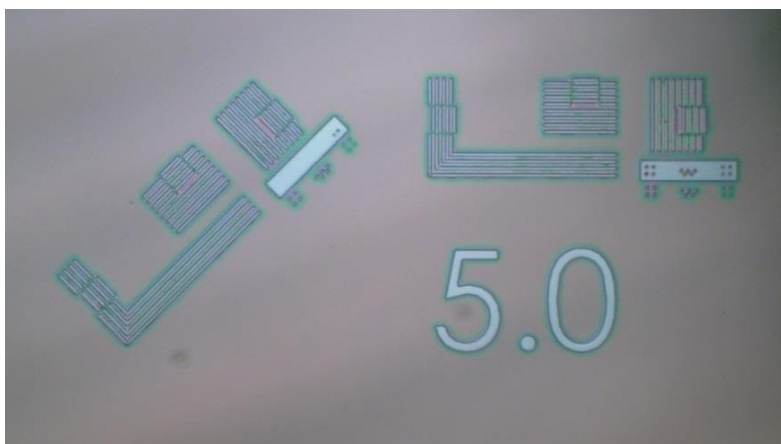
5. Temperatura wygrzewania wstępnego fotorezystu

Ostatnim obiektem zainteresowania stała się temperatura wygrzewania wstępnego na płycie grzewczej. Parametry rozwirowania płytki w wirówce wynosiły 3000obrotów/30sekund, czyli tyle ile podaje producent jako optymalne. Płytką PT_1 była wygrzewana w temperaturze 75°C . Jak widać na rysunku 7, fotorezyst jest „rozlany” i nie można dostrzec żadnej z oczekiwanych linii. Jednocześnie proces wywoływania przebiegł poprawnie.



Rys. 7. Widok kształtu 5 µm na płytce PT_1

W przypadku wstępnego wygrzewania płytki PT_5 w temperaturze 115°C znacznie trudniej przebiegał proces wywoływania. Dodatkowo można zauważyć na rysunku 8 połączone ze sobą linie, bez wyraźnych obrysów.

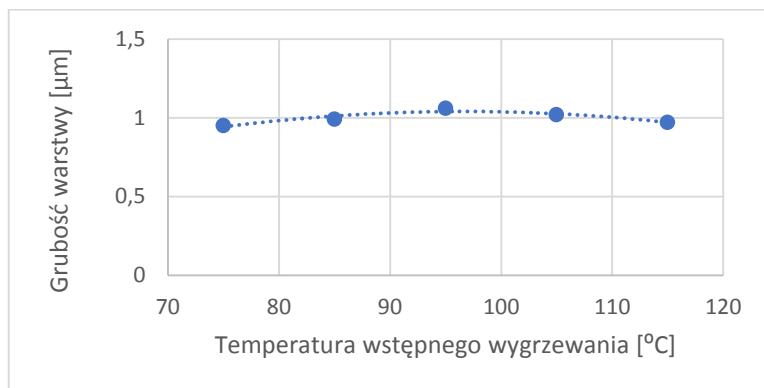


Rys. 8. Widok kształtu 5 µm na płytce PT_5

Podobnie jak w przypadku zmiany czasu wirowania, tak i przy zmianie temperatury suszenia wstępnego, zmiana grubości warstwy fotorezystu jest pomijalna, co przedstawia rysunek 9 oraz tabela 4. Spowodowało to, że w tym przypadku również dalsza część procesu została wstrzymana.

Tab. 5. Zmiana grubości warstwy biorąc pod uwagę temperaturę wstępnego wygrzewania

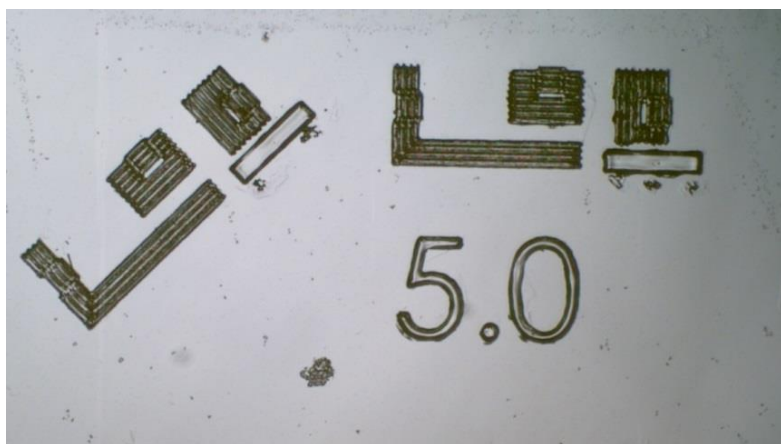
Temperatura wstępnego wygrzewania [°C]	Grubość warstwy[μm]
75,00	0,95
85,00	0,99
95,00	1,06
105,00	1,02
115,00	0,97



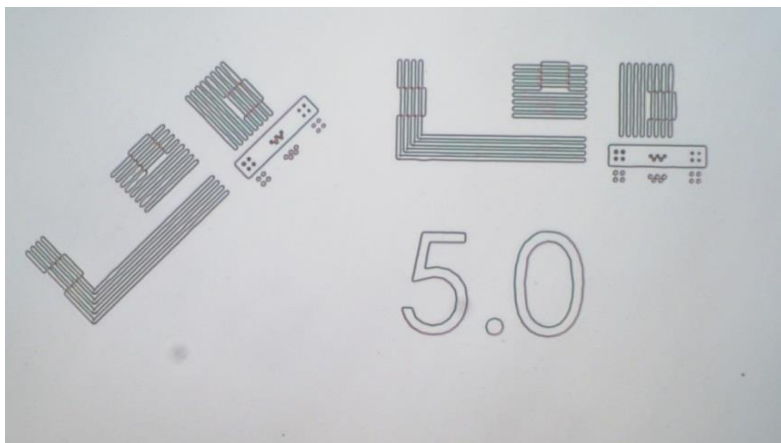
Rys. 9. Wpływ temperatury wstępnego wygrzewania płytek na grubość warstwy

6. Proces lift-off

Po naparowaniu na płytki aluminium o spodziewanej grubości $1\ \mu\text{m}$ na rysunku 10 można zauważyć rozmyte kształty. Jest to związane z grubą warstwą fotorezystu, która przy zastosowaniu grubej metalizacji powoduje niską rozdzielczość naświetlonych wzorów. Spodziewana grubość otrzymywanej warstwy aluminium związana jest z zakresem optymalnych grubości naparowanego metalu podawanym przez producenta używanego fotorezystu. Przy pomocy profilometru została zbadana faktyczna grubość naparowanego metalu i wynosiła $0,75\ \mu\text{m}$. Rozdzielczość płytki PS_10, widocznej na rysunku 11, jest zdecydowanie najlepsza biorąc pod uwagę wcześniejsze płytki.

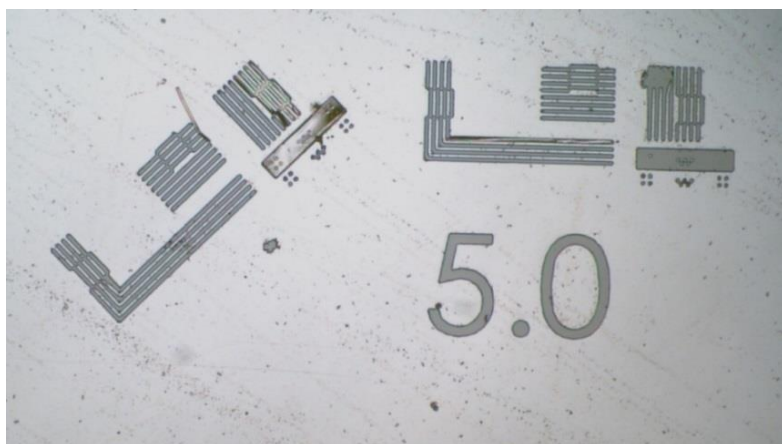


Rys. 10. Widok kształtu 5 μm na płytce PS_1 po naparowaniu aluminium



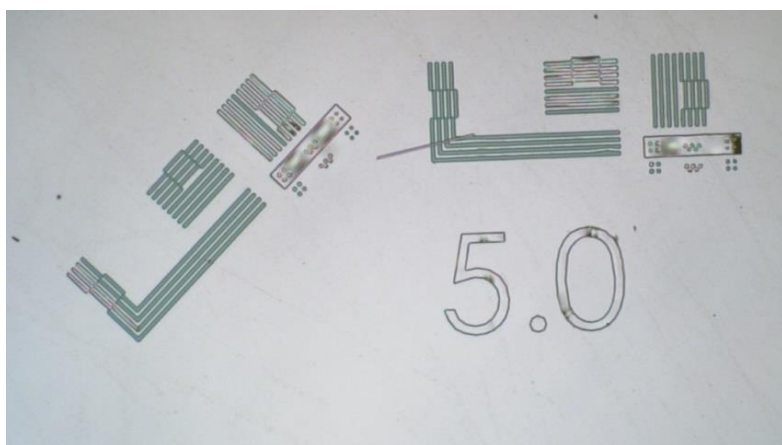
Rys. 11. Widok kształtu 5 μm na płytce PS_10 po naparowaniu aluminium

Ostatnim etapem badań był wpływ grubości warstwy, uzyskanej przy różnych prędkościach wirowania, na proces lift-off. W tym celu każda z płytek została poddana kąpieli w acetonie przy użyciu myjki ultradźwiękowej. Płytką PS_1 widoczną na rysunku 12 przebywała w myjce 8 minut. Można zauważyć, że odwzorowane wzory nie są wyraźnie widoczne oraz że część z nich jest ze sobą połączona lub jest zerwana.



Rys. 12. Widok kształtu 5μm na płytce PS_1 po usunięciu warstwy metalu

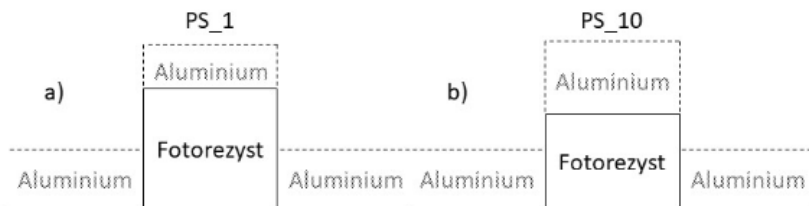
Płytkę PS_10 spędziła w myjce ultradźwiękowej najwięcej czasu, spośród wszystkich badanych płytek, czyli aż 25 minut. Efektami tego procesu widocznymi na rysunku 13 są przede wszystkim przesunięte i oderwane części wzorów. Dodatkowo w niektórych obszarach można zauważyć niecałkowite „oderwanie” metalu.



Rys. 13. Widok kształtu 5μm na płytce PS_10 po usunięciu warstwy metalu

Na rysunku 14 można zaobserwować zmianę stosunku grubości naporowanego metalu w zależności od grubości warstwy fotorezystu. Liniami przerywanymi zostały oznaczone warstwy aluminium, a liniami ciągłymi fotorezystu. W przypadku płytki PS_1 stosunek tych dwóch grubości jest najmniejszy i wynosi około 2:10. Rozkład grubości warstw dla płytki PS_10 równy jest 8:10, spowodowane jest to cienką warstwą fotorezystu. W rezultacie

zapewniona jest najwyższa rozdzielczość, lecz problematyczna staje się łatwość usuwania aluminium.



Rys. 14. Stosunek grubości warstwy aluminium do grubości warstw fotorezystu dla płytek a) PS_1 b) PS_10

7. Podsumowanie

Podczas przeprowadzonych badań sprawdzony został wpływ parametrów na grubość warstwy fotorezystu oraz na całkowity przebieg procesu fotolitografii. Parametrami branymi pod uwagę były: prędkość wirowania, czas wirowania oraz temperatura wstępnego suszenia warstwy fotorezystu. Dzięki przeprowadzonemu eksperymentowi można zauważyć, że prędkość wirowania płytek w wirówce ma znaczący wpływ na grubość warstwy, mianowicie im większa prędkość wirowania tym cieńsza warstwa fotorezystu. Co więcej im cieńsza warstwa fotorezystu to lepsza rozdzielczość odwzorowywanych wzorów oraz występuje mniej problemów z etapem wywoływania. Próbkę z cienką warstwą emulsji potrzebują jednak stosunkowo dużo czasu, aby usunąć z nich naparowany metal. Dodatkowym problemem cienkiej warstwy fotorezystu jest przesuwanie oraz odrywanie elementów wzoru po wykonaniu procesu lift-off. Pozostałe parametry, czyli czas wirowania i temperatura wstępnego suszenia, nie miały znaczącego wpływu na grubość warstwy fotorezystu, która wynosiła w tych przypadkach około 1 μm . Zbyt krótki czas wirowania powodował jednak występowanie problemów podczas przeprowadzanego etapu wywoływania. Dodatkowo podczas kontroli pod mikroskopem można było zauważyć poodrywane oraz zniekształcone naświetlone wzory. Gdy płytki były wirowane w czasie 60 sekund zauważalna była duża rozdzielczość wzorów, lecz część z nich uległa oderwaniu. W przypadku wysokiej temperatury wstępnego suszenia płytki po naświetleniu musiały spędzić stosunkowo dużo czasu w wywoływaczu. W związku z tym część odwzorowanych kształtów została oderwana. Natomiast zbyt niska temperatura spowodowała zauważalny efekt „rozłania” fotorezystu. Wiąże się to bezpośrednio z gorszą rozdzielczością naświetlonych kształtów.

Badania wykazały, że w przypadku, gdy proporcje metalu do fotorezystu wynoszą 2:10, płytki charakteryzują się łatwością usuwania warstw metalu, lecz odwzorowane wzory posiadają niską rozdzielczość. Chcąc uzyskać najlepszą rozdzielczość, stosunek grubości warstw powinien wynosić 8:10, jednak w tym przypadku występują problemy z procesem lift-off.

Podsumowując przebadane parametry mają znaczący wpływ na przebieg procesu fotolitografii, dlatego korzystne jest, aby stosować wytyczne podawane przez producentów fotorezystów.

Literatura

- [1] Adamczewska J., *Procesy technologiczne w elektronice półprzewodnikowej*, WNT, Warszawa, 1980.
- [2] Beck R.B., *Technologia krzemowa*, PWN, Warszawa, 1991.
- [3] http://www.lithoguru.com/scientist/litho_history/Kato_Litho_History.pdf (dostęp 15.02.2020).

Diana TUROWSKA

Politechnika Lubelska, Inżynieria Biomedyczna

NOWE TECHNOLOGIE W URZĄDZENIACH ELEKTRONICZNYCH STOSOWANYCH W FIZJOTERAPII

1. Wstęp

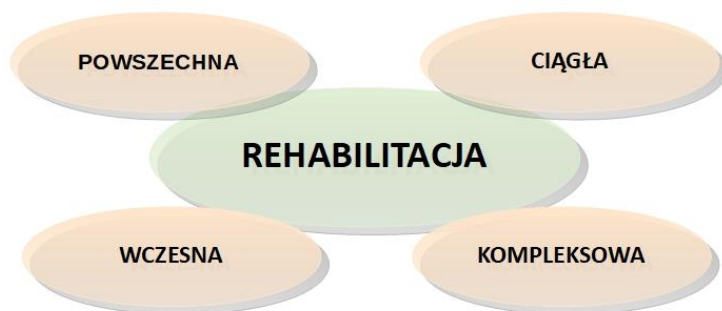
Rehabilitacja jest nieodłącznym, końcowym elementem procesu leczenia pacjenta gdyż ma na celu poprawę jakości życia oraz umożliwienie pacjentowi brania czynnego udziału w życiu społecznym. Rehabilitacja dotyczy ludzi w każdym wieku o różnych dolegliwościach, zarówno wrodzonych, jak i nabytych np. w wyniku wypadku. W związku z tym, jest ona bardzo ważnym obszarem medycyny i tak jak każde inne dziedziny rozwija się, by zapewnić pacjentom jak najbardziej skuteczną terapię. Szczególne znaczenie ma rozwój technologiczny elektronicznych urządzeń do fizjoterapii. Fizjoterapia skupia się na leczeniu niepełnosprawności ruchowej, a więc głównie terapii narządów ruchu. Elektroniczne urządzenia stosowane w tym celu muszą spełniać szereg wymagań, gdyż są to urządzenia medyczne mające niejednokrotnie bezpośredni kontakt z zarówno z pacjentem jak i z personelem medycznym. Wymagania te dotyczą w szczególności bezpieczeństwa oraz jakości konstrukcji i są określane przez szczegółowe dokumenty prawne. Urządzenia stosowane w fizjoterapii powinny być uniwersalne aby umożliwić terapię wielu rodzajów dolegliwości dla pacjentów różnych grup wiekowych, a jednocześnie powinny pozwalać na jak najlepszą jej personalizację w celu zapewnienia wysokiej skuteczności oraz jak najlepszych efektów leczenia. Aby to osiągnąć stosuje się najnowocześniejsze rozwiązania między innymi z dziedzin informatyki, mechaniki i inżynierii materiałowej. Prowadzi to do ulepszania istniejących już urządzeń opierających swoje działanie na znanych wcześniej rozwiązaniach, o nowe technologie lub do tworzenia całkiem nowych urządzeń o nowatorskim podejściu do fizjoterapii znanych dolegliwości.

Nowe technologie w elektronicznych sprzętach do fizjoterapii mają duże znaczenie dla współczesnej medycyny, potrafią ułatwiać i usprawniać pracę fizjoterapeuty a czasem nawet wykluczać potrzebę stałego nadzoru pacjenta przy jednoczesnym zapewnieniu wysokiej lub nawet zwiększonej skuteczności wykonywanych zabiegów lub ćwiczeń.

2. Pojęcie i zadania fizjoterapii

Fizjoterapia lub fizykoterapia, jest to rehabilitacja ruchu, a więc polega na terapii narządów ruchu oraz innych układów organizmu będących przyczyną upośledzenia poruszania się pacjenta. Rehabilitacja medyczna w ujęciu ogólnym ma na celu poprawę jakości życia pacjenta a także zapewnienie komfortu psychicznego oraz przywrócenie pacjentowi sprawności fizycznej bądź psychicznej. Ma to umożliwić pacjentowi czynny udział w życiu społecznym np. poprzez przywrócenie zdolności do wykonywania pracy zawodowej. Rehabilitacja jest ostatnim etapem w procesie terapeutycznym rozpoczynającym się kolejno od diagnozy i leczenia i powinna charakteryzować się (Rys. 1):

- powszechnością – każdy obywatel, który potrzebuje rehabilitacji, powinien mieć do niej prawo;
- kompleksowością – powinna składać się z wszystkich dostępnych metod i technik;
- wczesnością – powinna być wprowadzona najwcześniej jak to możliwe;
- ciągłością – jeśli nie jest to zalecane, nie powinna być przerywana.



Rys. 1. Wymagania dotyczące rehabilitacji

Fizjoterapia wykorzystuje terapeutyczne właściwości naturalnych czynników fizycznych, do których można zaliczyć: bodźce ruchowe, kinetyczne, mechaniczne, świetlne, termiczne, chemiczne czy też elektryczne. Urządzenia stosowane w fizjoterapii odtwarzają te bodźce w sposób sztuczny, w warunkach kontrolowanych dobierając odpowiednią ich intensywność, czas i sposób podania. Czynniki oddziałują na dane tkanki, układy lub też cały organizm wywołując odczyn, czyli specyficzną odpowiedź ustroju. Na przestrzeni lat, na drodze badań klinicznych odkryto najskuteczniejsze metody stosowania różnych czynników fizycznych, tak aby wywołać pożądane odczyny fizjologiczne. Metody te są wykorzystywane w różnych obszarach fizykoterapii (Tab. 1).

Tab. 1. Rodzaje czynników fizycznych wraz z obszarami fizykoterapii, w których są wykorzystywane

Rodzaj wykorzystywanego czynnika fizycznego	Obszary fizykoterapii
czynnik termiczny	terapia z wykorzystaniem ultradźwięków, naświetlanie promieniami podczerwonymi, krioterapia
czynnik fotochemiczny	laseroterapia, ledoterapia, terapia światłem spolaryzowanym
czynnik elektrochemiczny	galwanizacja, jonoforeza
czynnik elektrokinetyczny	elektrostymulacja, terapia prądami diadynamicznymi, terapia prądami interferencyjnymi
czynnik mechaniczny i kinetyczny	masaż leczniczy, trening funkcjonalny, hydromasaż, terapia z wykorzystaniem ultradźwięków

3. Wymagania dotyczące urządzeń stosowanych w fizjoterapii

Elektroniczne urządzenia medyczne, w tym urządzenia fizjoterapeutyczne, muszą spełniać szereg wymagań związanych z bezpieczeństwem oraz jakością, dotyczących szczególnie posiadania odpowiednich oznaczeń. Główne dokumenty, które określają te wymagania to aktualne normy Polskiego Komitetu Normalizacyjnego, aktualne dyrektywy Rady Wspólnot Europejskich, jak również ustawa z dnia 20 maja 2010 o wyrobach medycznych, która wdraża dyrektywy europejskie do prawa polskiego. Dodatkowo elektryczne urządzenia medyczne mogą zostać oznaczone znakiem CE jeśli spełniają wymagania tzw. dyrektyw Nowego Podejścia Unii Europejskiej. Wszelkie wyroby medyczne są klasyfikowane ze względu na stopień ryzyka związany z ich stosowaniem.

W dużej mierze to jednak konstruktorzy, a nie normy prawne, decydują o ergonomii urządzenia. Przy projektowaniu dowolnych urządzeń medycznych mających kontakt z pacjentem należy mieć na uwadze przede wszystkim zapewnienie bezpieczeństwa zarówno dla pacjenta, jak i fizjoterapeuty

obsługującego urządzenie, szczególnie jeśli jest ono zasilane sieciowo lub generuje czynniki fizyczne, które w pewnych warunkach mogą być niebezpieczne. Równie ważne jest zapewnienie sterylności części aplikacyjnych, czyli części które mają bezpośredni kontakt z pacjentem. Nie można dopuścić do sytuacji, w której urządzenie stanie się potencjalnym zagrożeniem bakteriologicznym dla korzystających z niego pacjentów. Części aplikacyjne powinny zatem być zaprojektowane z odpowiedniego materiału, z wymiennymi końcówkami jednorazowymi bądź umożliwiającymi łatwe, szybkie i bezpieczne czyszczenie oraz sterylizację. Urządzenia powinny być również łatwe w obsłudze dla fizjoterapeuty, a więc posiadać czytelne oraz intuicyjne interfejsy oraz charakteryzować się nieskomplikowaną budową części aplikacyjnych. Jest to szczególne zadanie projektantów oraz konstruktorów. Programy nowych urządzeń oferują coraz więcej trybów pracy oraz dodatkowych funkcji, należy więc dopilnować aby nie były utrudnieniem dla użytkowników. Oprócz czytelnego tekstu powinny wyróżniać się funkcjonalną grafiką, tak by nie powodować pomyłek przy nastawianiu parametrów zabiegu. Elektroniczne urządzenia do fizjoterapii muszą wyróżniać się wysoką jakością i niezawodnością. W nowoczesnych urządzeniach służą do tego systemy zwiększające ochronę przed awarią takie jak auto-test, który na bieżąco sprawdza czy wszystkie elementy urządzenia działają poprawnie i wyświetla ewentualne problemy.

4. Przyczyny poszukiwania nowych rozwiązań w fizjoterapii

Coraz większym problemem w obecnych czasach staje się starzejące się społeczeństwo spowodowane niskim przyrostem naturalnym. Powoduje to zwiększone zapotrzebowanie na personel medyczny oraz opiekunów dla seniorów, których liczba niestety jest ograniczona. W związku z tym, szuka się rozwiązań tego problemu od strony technologicznej. Urządzenia medyczne są projektowane w taki sposób, aby były jak najbardziej autonomiczne, obsługiwane zdalnie przez wykwalifikowany personel lub stosowane samodzielnie w domach przez pacjentów. Niektóre z tych rozwiązań ciężko jednak zastosować przez wysoki koszt takich urządzeń lub brak odpowiedniego wykształcenia czy uprawnień pacjentów. Najłatwiejszym warunkiem do spełnienia jest więc zapewnienie urządzeniu pewnej autonomii, aby ułatwić i usprawnić pracę fizjoterapeuty. Umożliwiają to np. urządzenia, które są w stanie zapisać w swojej pamięci określone parametry zabiegów i odtworzyć je wielokrotnie np. w ciągu kilkutygodniowego cyklu terapeutycznego. Wiele urządzeń może też wykonywać zabiegi automatycznie bez potrzeby wykonywania zabiegu przez fizjoterapeutę. Takie funkcjonalności są dostępne

w wielu nowoczesnych urządzeniach, które oferują możliwość programowania trybów zabiegowych, tak aby jak najlepiej dopasować je do potrzeb każdego pacjenta.

Inną przyczyną poszukiwania nowych rozwiązań w fizjoterapii są odkrycia w dziedzinie fizjologii człowieka i mechanizmów działania ludzkiego organizmu oraz poznawanie wpływu danych czynników fizycznych na określone układy ciała człowieka. Poznając lepiej mechanizmy działania organizmu ludzkiego można lepiej dopasować metody leczenia a więc także obszary fizjoterapii.

Bez wątpienia rozwój działów technicznych takich jak: informatyka, mechanika oraz inżynieria materiałowa mają ogromny wpływ na tworzenie coraz to efektywniejszych elektronicznych urządzeń do fizjoterapii. Nowe technologie umożliwiają zarówno ulepszanie istniejących już urządzeń, jak i szukanie nowatorskich rozwiązań.

Wszystkie te czynniki są powodem intensywnych poszukiwań oraz projektowania i tworzenia nowych rozwiązań z obszaru elektronicznych sprzętów medycznych, w tym fizjoterapeutycznych.

5. Przykłady nowoczesnych urządzeń stosowanych w fizjoterapii

5.1. Urządzenie BTL-5000 do terapii skojarzonej

Urządzenie BTL-5000 posiada system modułowy, z którego każdy moduł realizuje zabiegi z różnych dziedzin fizjoterapii wykorzystujących specyficzne czynniki fizyczne. Urządzenie jest wyposażone w jeden panel sterujący wszystkimi modułami (Rys. 2), który umożliwia prowadzenie kilku rodzajów zabiegów: elektroterapię, magnetoterapię, terapię ultradźwiękami oraz laseroterapię.

Aparat jest wyposażony w bazę gotowych protokołów zabiegowych i umożliwia terapię w kilku trybach. Urządzenie jest skonstruowane tak, aby poszczególne moduły nie zakłócały pracy pozostałych. Dużą zaletą urządzenia jest możliwość prowadzenia terapii skojarzonej, czyli równoczesnej terapii różnymi metodami np. prądem elektrycznym i ultradźwiękami w celu zapewnienia kompleksowego leczenia o wysokiej skuteczności.

Urządzenie BTL-5000 jest niewielkie, a jednocześnie oferuje wiele rodzajów terapii. Ważną zaletą jest także możliwość zapamiętywania cyklu terapeutycznego poszczególnych pacjentów, co umożliwia wbudowana w urządzenie baza danych. Dodatkowo, każdy zapisywany cykl terapeutyczny może składać się z różnych rodzajów terapii, które są realizowane przez określone moduły urządzenia.



Rys. 2. Urządzenie BTL-5000

5.2. Urządzenie MagnetoStym do magnetoterapii

Urządzenie MagnetoStym służy do bezkontaktowej elektromagnetycznej stymulacji mięśni dna miednicy (Rys. 3). Urządzenie zamiast klasycznych elektrod, wykorzystuje aplikator emitujący pole elektromagnetyczne w siedzenie fotela. Zabiegi nie wymagają zdejmowania odzieży i są bezbolesne dla pacjenta. Urządzenie umożliwia głęboką stymulację mięśni w sposób całkiem nieinwazyjny i bez skutków ubocznych. Ze względu na wysokie pole elektromagnetyczne należy usunąć wszelkie metalowe przedmioty z pola działania urządzenia.

Stymulacja magnetyczna zwiększa siłę mięśni dna miednicy i wytrzymałość zwieracza, ma szczególne zastosowanie w leczeniu nietrzymania moczu, które jest bardzo uciążliwą i często trudną do wyleczenia chorobą. Terapia urządzeniem MagnetoStym charakteryzuje się wysoką skutecznością w wyjątkowo krótkim czasie, zazwyczaj już po kilku zabiegach pacjenci odczuwają znaczną poprawę.

Innowacyjność urządzenia polega na metodzie podania czynnika (pola elektromagnetycznego) do trudno dostępnych miejsc, których leczenie innymi terapiami może być nieprzyjemne bądź całkiem niemożliwe. Ta metoda jest całkiem nieinwazyjna oraz bezbolesna przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej skuteczności.



Rys. 3. Urządzenie MagnetoStym wraz z aplikatorem wbudowanym w fotel

5.3. Robot ROBERT stosowany w kinezyterapii

Robot ROBERT to urządzenie, które automatycznie powtarza, dowolną ilość razy, ćwiczenia zadane przez fizjoterapeutę (Rys. 4). Odciąża dzięki temu fizjoterapeutę od konieczności samodzielnego wykonywania ćwiczeń z pacjentem przez około kilkanaście minut, a w tym czasie fizjoterapeuta może zająć się kolejnym pacjentem lub dokumentacją medyczną.



Rys. 4. Robot ROBERT

Robot umożliwia przeprowadzanie terapii biernej, czynnej lub łączonej, w której pacjent wykonuje np. tylko ruchy odwodzące. Fizjoterapeuta otrzymuje informację zwrotną o przebiegu ćwiczeń oraz sile z jaką pacjent wykonywał ruchy. Urządzenie jest bardzo łatwe oraz przyjemne w obsłudze dzięki czytelnemu wyświetlaczowi dotykowemu, z którego może korzystać także pacjent. Robot ROBERT jest dobrym przykładem urządzenia, które dzięki dużej autonomii wyklucza potrzebę ciągłego nadzoru i wysiłku fizjoterapeuty, a więc ogranicza ilość potrzebnego personelu medycznego.

5.4. Robot FOURIER M2 stosowany w rehabilitacji ręki

Robot FOURIER M2 jest wykorzystywany w celu poprawy zdolności motorycznych ręki poprzez poruszanie uchwytu urządzenia (Rys. 5). Dodatkowym atutem urządzenia jest zwiększenie skuteczności terapii poprzez zwiększanie motywacji pacjenta do wykonywania ćwiczeń dzięki połączeniu terapii z grami wideo.



Rys. 5. Robot FOURIER M2

Urządzenie oferuje pracę w trybie aktywnym, pasywnym, asystowanym i oporowym. Gry wideo oparte są na informacji zwrotnej w czasie rzeczywistym, a ich trudność oraz kierunek wykonywania ruchów są dostosowywane do aktualnych możliwości pacjenta. Robot generuje raporty wstępne oraz po każdej zakończonej sesji terapeutycznej, dzięki czemu fizjoterapeuta może obserwować i oceniać postępy pacjenta.

6. Podsumowanie

Rozwój elektronicznych urządzeń do fizjoterapii polega na zwiększaniu ich autonomii w celu zmniejszania ilości potrzebnego personelu medycznego, tworzeniu urządzeń wielozadaniowych w celu przeprowadzania kompleksowej terapii oraz umożliwianiu jak największej personalizacji terapii w celu zwiększenia jej skuteczności.

Odkrycia w dziedzinie medycyny, jak również rozwój takich dziedzin, jak informatyka, mechanika oraz inżynieria materiałowa umożliwiają zastosowanie nowoczesnych rozwiązań w elektronicznych urządzeniach fizjoterapeutycznych. Jest to tak ważne ze względu na znaczenie fizjoterapii w prawidłowym przebiegu procesu terapeutycznego skutkującego skróceniem czasu rekonwalescencji, poprawą komfortu pacjenta i w rezultacie umożliwieniem pacjentowi samodzielnego funkcjonowania.

Literatura

- [1] Mika T., Kasprzak W., *Fizykoterapia*, PZWL, Warszawa, 2015.
- [2] Definicja Fizjoterapii, Światowa Konfederacja Fizjoterapii, www.fizjoterapeuci.org/definicja-fizjoterapii-2/ (dostęp 10.10.2020).
- [3] BTL-5000, <https://www.btlnet.pl/produkty-fizjoterapia> (dostęp 3.03.2020).
- [4] Fotel do leczenia nietrzymania moczu Magneto STYM, <https://eresmedical.com.pl/fotel-do-leczenia-nietrzymania-moczu-magneto-stym-p-454.html> (dostęp 3.03.2020).
- [5] Robot do rehabilitacji ręki Fourier M2, https://www.bardomed.pl/urzadzenia-do-neurorehabilitacji/845-robot-do-rehabilitacji-reki-fourier-intelligence-m2.html?search_query=FOURIER+M2&results=1 (dostęp 3.03.2020).
- [6] Robot Robert, <https://www.lifescience-robotics.com/meet-robert/> (dostęp 3.03.2020).

Agata SEROCZYŃSKA⁽¹⁾, Marcin MACIEJEWSKI⁽²⁾

⁽¹⁾ Politechnika Lubelska, Koło Naukowe Elektroników „MICROCHIP”,

⁽²⁾ Politechnika Lubelska, Katedra Elektroniki i Technik Informacyjnych, ORCID 0000-0001-9116-5481

STANOWISKO POMIAROWE DO ANALIZY WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNYCH MIESZANINY SYPKIEJ

1. Wstęp

Spektroskopia to dziedzina nauki zajmująca się oddziaływaniem promieniowania elektromagnetycznego na materię. Za początek historii spektroskopii można uznać eksperymentalne doświadczenia Isaaca Newtona związane z optyką. To on jako pierwszy użył słowa „widmo” jako opis zjawiska rozczepienia się białej wiązki światła na tęczę kolorów po przejściu przez pryzmat. Metody spektroskopowe związane są ze zjawiskami absorpcji lub emisji promieniowania elektromagnetycznego w zakresie określonej długości fali przez konkretne pierwiastki bądź cząsteczki chemiczne, a także na pozwalają na analizę ilościową i jakościową danych substancji. Ze względów praktycznych oraz komfortu analizy badań promieniowanie elektromagnetyczne zostało podzielone szereg umownych zakresów, uwzględniających jego cechy jakościowe. Obecnie badania się przeprowadzane w każdym zakresie promieniowania elektromagnetycznego począwszy od fal radiowych, podczerwieni (IR), światła widzialnego (VIS), aż po światło ultrafioletowe (UV), promieniowanie X i promieniowanie γ .

Spektrofotometria to jedna z najstarszych metod instrumentalnych wykorzystywana do celów analitycznych. Dzięki badaniu spektrofotometrycznym uzyskuje się wiele informacji dotyczących struktury substancji, a także pozwalają na ilościowe i jakościowe oznaczenie substancji.

W latach 40-tych XX wieku A. O. Beckmana zbudował pierwszy spektrofotometr będący rozwiązaniem dla dotychczasowych urządzeń, które miały problemy z pomiarami w nadfiolecie. Dzięki jego postępom eksperymentalnym metoda spektrofotometryczna stała się dokładniejsza oraz zaczęła umożliwiać wykonywanie ilościowych analiz próbek. Sukces Beckmana zapoczątkował rozwój i upowszechnienie technik spektrofotometrycznych. Metody te już od prawie wieku odgrywają coraz istotniejszą rolę w fizyce, chemii, ale także naukach o ziemi i środowisku.

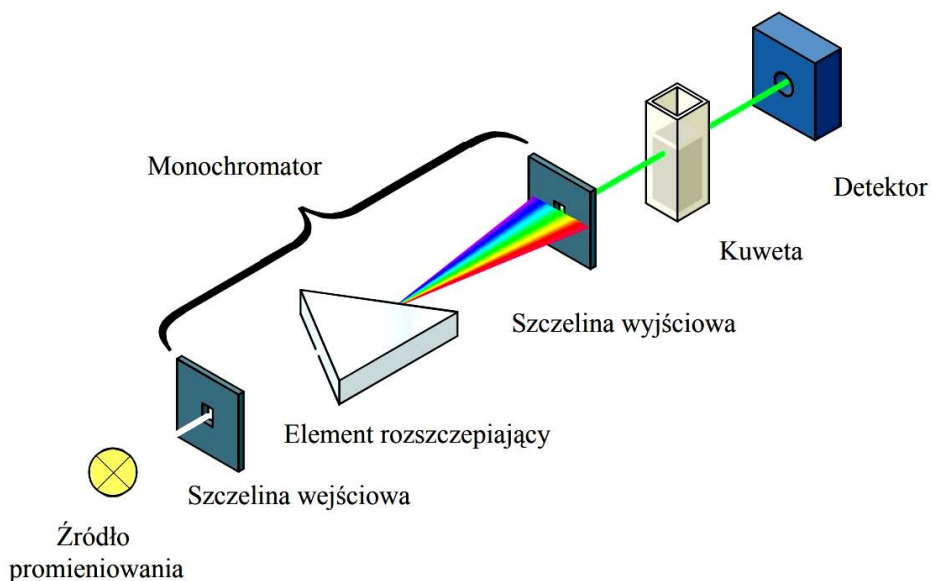
Spektrofotometria wykorzystuje zjawiska absorpcji i transmitancji. Polega ona na ilościowym pomiarze absorbancji lub przepuszczalności analizowanego ośrodka. Jedną z zalet tej metody jest fakt, że pozwala ona na badania zarówno

ciał stałych, cieczy jak i gazów. Z uwagi na to, że spektrofotometria w przeciwieństwie do fotometrii pozwala na pomiar promieniowania elektromagnetycznego w zależności od długości fali, wyróżnia się jej trzy podstawowe działy: spektrofotometrię w świetle ultrafioletowym (w zakresie 200–380 nm), spektrofotometrię w świetle widzialnym (w zakresie 380–780 nm) oraz spektrofotometrię w podczerwieni (w zakresie 1–16 μm). Ze względu na nie wielkie różnice teoretyczne i aparaturowe najczęściej stosuje się połączenie spektrofotometrii UV i VIS [2], [3].

2. Budowa i zasada działania spektrofotometru UV/VIS

Do badania absorpcji analizowanej próbki w zakresie światła widzialnego i ultrafioletu wykorzystuje się jednozwiązkowe spektrofotometry UV/VIS. Podstawowym elementem budowy urządzenia jest źródło światła. Dobrze dobrane źródło promieniowania charakteryzuje się w miarę ciągłym widmem emisji w całym zakresie stosowania, przy czym zakres odpowiadający maksymalnej emisji energii był bliski zakresowi maksymalnej czułości detektora, a moc źródła była dostosowana do światłości monochromatora oraz czułości detektora. Jako źródło promieniowania elektromagnetycznego najczęściej wykorzystuje się lampy wolframowe (dla promieniowania w zakresie widzialnym), lampy wodorowe (dla promieniowania ultrafioletowego) oraz lampy wolframowo-halogenowe. W najnowocześniejszych spektrofotometrach stosuje się coraz częściej lampy niskonapięciowe, niewymagające wysokich napięć przy jednoczesnym zapewnieniu lepszych parametrów spektralnych oraz eksploatacyjnych. W celu uzyskania monochromatyzacji promieniowania elektromagnetycznego wykorzystuje się najczęściej siatki dyfrakcyjne, których zadaniem jest rozszczepienie polichromatycznej wiązki emitowanej przez źródło i wyeksponowanie z uzyskanego widma fragmentu zawierającego promieniowanie o konkretnej długości fali. Zasada działania siatki opiera się na zjawisku interferencji promieni ugiętych. Zadana długość fali uzyskuje się dzięki osiowemu obrotowi monochromatora. Do analizy próbek ciekłych lub gazowych stosuje się kuwety. Dobrze dobrane naczynia pomiarowe mają wysoką przejrzystość optyczną, dużą transmisję promieniową w żądanym zakresie, niską przewodność cieplną, a także wykazują dobrą odporność chemiczną. W układzie optycznym w urządzeniu spektrofotometrycznym przy pomocy detektora odbywa się pomiar natężenia światła. Jego zasada działania polega na zamianie energii promieniowania elektromagnetycznego na energię elektryczną. Detektor musi charakteryzować wysoką czułością, niskim poziomem szumów własnych oraz wykazywać liniowość przetwarzania otrzymywanych sygnałów optycznych na sygnały elektryczne. Układ rejestrujący składa się z szeregu współgrających mniejszych podzespołów. Jego podstawowym zadaniem jest zapisanie sygnałów

odbieranych przez detektor. Współczesne spektrofotometry do rejestracji pomiarów wykorzystują układy elektroniczne obsługiwane komputerowo. W spektrofotometrach wyższej klasy zastosowanie odpowiedniego oprogramowania pozwala na cyfrowy odczyt wartości ekstynkcji (absorbancji), ale autodiagnostykę urządzenia, wzorcowanie, korekcję, pełną optymalizację sygnału, prezentację wyników oraz przechowywanie i przetwarzanie danych pomiarowych [2], [3], [4].



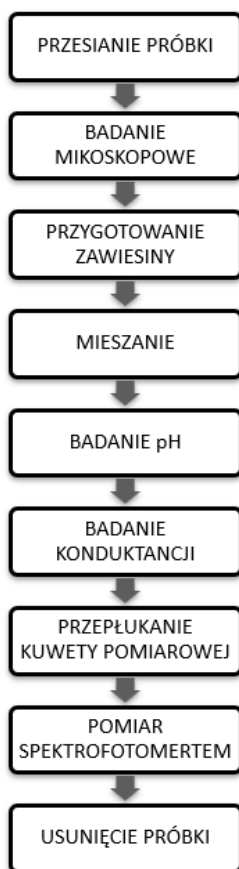
Rys. 1. Schemat budowy spektrofotometru [1]

Aby zrozumieć zasadę działania spektrofotometru wystarczy prześledzić drogą jaką pokonuje promieniowanie elektromagnetyczne od układu optycznego do układ sterująco-rejestrujący spektrofotometru. Źródło promieniowania emituje wiązkę światła polichromatycznego o danym natężeniu. Następnie, na monochromatorze (siatce dyfrakcyjnej) wydzielana jest wiązka promieniowania o żądanej długości fali. Światło przepuszczone przez monochromator trafia na szeliny.

Monochromatyczna wiązka promieniowania pada na naczynko pomiarowe zawierającą analizowaną próbkę. W wyniku zjawiska załamania na ściankach kuwety wiązka padająca różni się od wiązki wyjściowej. Bezpośredni pomiar natężenia promieniowania oraz ocenę intensywności barwy próbki zapewnia detektor. Dane dotyczące natężenia wytworzonego przez detektor prądu fotoelektrycznego rejestrowane są przez układ pomiarowy i rejestrujący, który w zależności od zastosowanego oprogramowania, zapisuje je i przetwarza [4].

3. Projekt stanowiska pomiarowego

Zaprojektowanie i wykonanie spektrofotometru w zakresie światła widzialnego, jako części stanowiska do badania próbki sypkiej do zastosowania w mobilnej praformie sensorycznej „Orion” to jeden z celów projektu. Stanowisko to ma stanowić część łazika, nad którym prace prowadzi Koło Naukowe Elektroników "MicroChip" z Politechniki Lubelskiej.

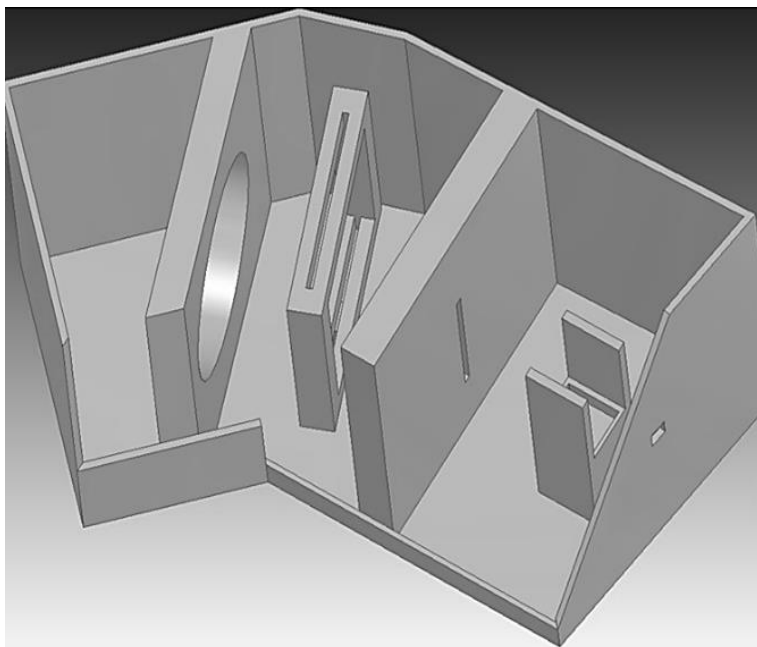


Rys. 2. Schemat ideowy procesu analizy próbki ziemi

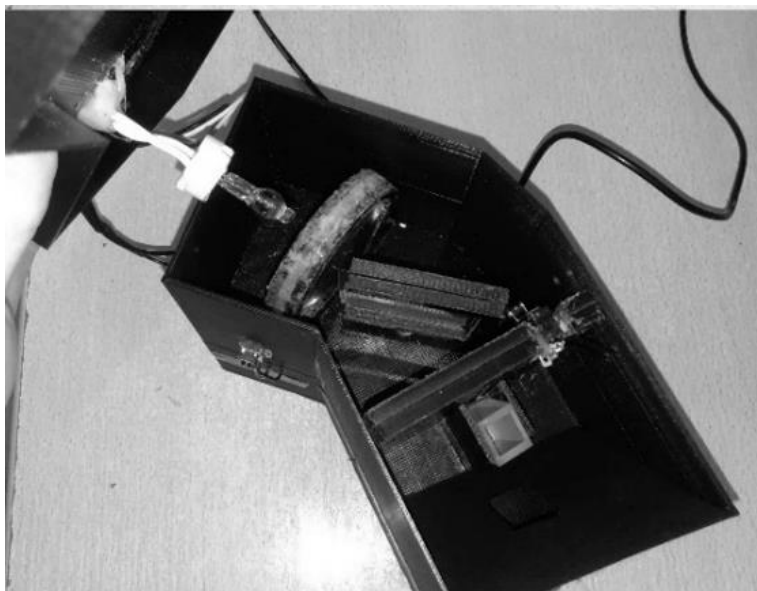
Podstawowymi funkcjami urządzenia do badania próbki sypkiej gleby to: badanie mikroskopowe (w stanie stałym), analiza właściwości chemicznych zawiesiny wody i próbki ziemi, realizowana przez spektrofotometr, pehametr oraz czujnik konduktometryczny. Głównym celem jest zautomatyzowanie wszystkich procesów pomiarowych, a podstawową własnością stanowiska jest zapewnienie przepływowości badanej próbki. Dzięki temu jedna próbka

w bardzo krótkim czasie poddawana jest kilku analizom właściwości fizykochemicznych. Kluczowe aspekty budowy stanowiska to: system przepłukiwania naczyń z zamontowanym czujnikiem konduktometrycznym i pehametrem oraz kuwety spektrofotometru, od którego zależy dokładność i jakość pomiarów, a także dobór odpowiedniej średnicy przewodów doprowadzających próbkę oraz szczelność połączeń między elementami. Do analizy próbki sypkiej metoda spektrofotometryczna została wybrana spośród wielu technik instrumentalnych ze względu na: krótki czas pomiaru, bezpośredni pomiar przy użyciu oprogramowania komputerowego oraz możliwość pomiarów w świetle o różnej długości fali. Przed rozpoczęciem projektowania spektrofotometru niezbędne było wyznaczenie założeń dotyczących aparatury, do których należą: zbudowanie jednowiązkowego spektrofotometru w zakresie światła widzialnego przy wykorzystaniu łatwo dostępnych elementów oraz prostota budowy układu pomiarowego (zastosowanie nieskomplikowanego oprogramowania sterującego), dająca możliwość ulepszania i modyfikacji w zależności od potrzeb.

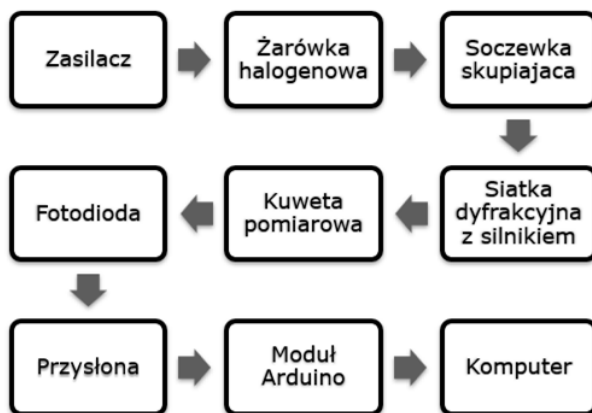
Spektrofotometr o założonej prostocie budowy umożliwia przeprowadzanie tylko analizy ilościowej próbki. Do budowy urządzenia jako źródło promieniowania elektromagnetycznego, wykorzystano lampę halogenową, generującą promieniowanie o natężeniu około 765 lm z wydzielaniem dużej ilości ciepła. Ze względu na możliwy wzrost temperatury lampa zostaje zasilana tuż przed wykonywaniem pomiarów właściwych. Aby wiązka świetlna bezpośrednio padała na monochromator w wyliczonej odległości zamontowana została soczewka skupiająca. Jako monochromator użyto siatki dyfrakcyjnej zamontowanej w specjalnej ramce umieszczonej na silniku krokowym z przekładnią redukcyjną. Silnik sterowany jest cyfrowo napędem stosowanym do pozycjonowania, umożliwiając dokładne wyznaczenie kąta i kontrolę prędkości obrotowej. Jego rolą jest obrót ramki wraz z siatką dyfrakcyjną, która ustawiona pod danym kątem, kieruje fale promieniowania elektromagnetycznego o wymaganej długości fali wprost na naczynie pomiarową. Sterowanie silnika zapewnia płytka PCB Uln2003 Line Stepper Motor. Aby na kuwetę wraz z analizowaną próbką padało promieniowanie jedynie o żądanej długości fali, między siatką dyfrakcyjną a naczyniem pomiarowym ustawiona została przysłona z regulowaną szczeliną. Jako detektor wykorzystano fotodiodę BPW34, której działanie oparte jest na zjawisku zachodzącym w miejscu styku warstw półprzewodnikowych. Sterowanie całym układem pomiarowym i rejestrującym zapewnia moduł Arduino NANO z wbudowanym mikrokontrolerem AVR Atmega328. Za pomocą platformy programistycznej Arduino został napisany program, umożliwiający zsynchronizowane sterowanie poszczególnymi elementami spektrofotometru. Obudowa oraz poszczególne elementy konstrukcji zostały zaprojektowane w programie Solid Edge, a następnie wykonane przy użyciu drukarka 3D o dokładności do 0,2 mm. [5], [6]



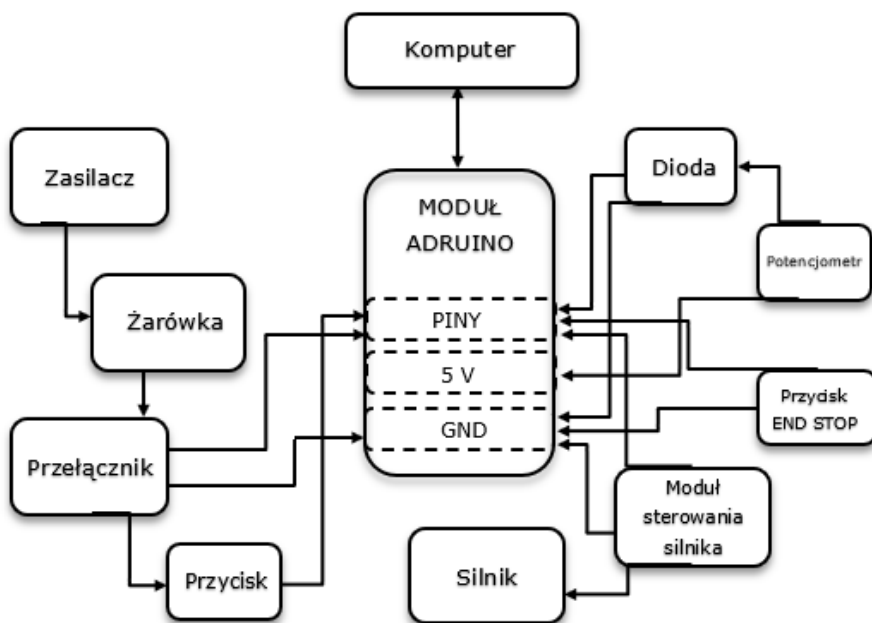
Rys. 3. Model spektrofotometru wykonany w programie Solid Edge



Rys. 4. Spektrofotometr własnej konstrukcji



Rys. 5. Schemat budowy spektrofotometru

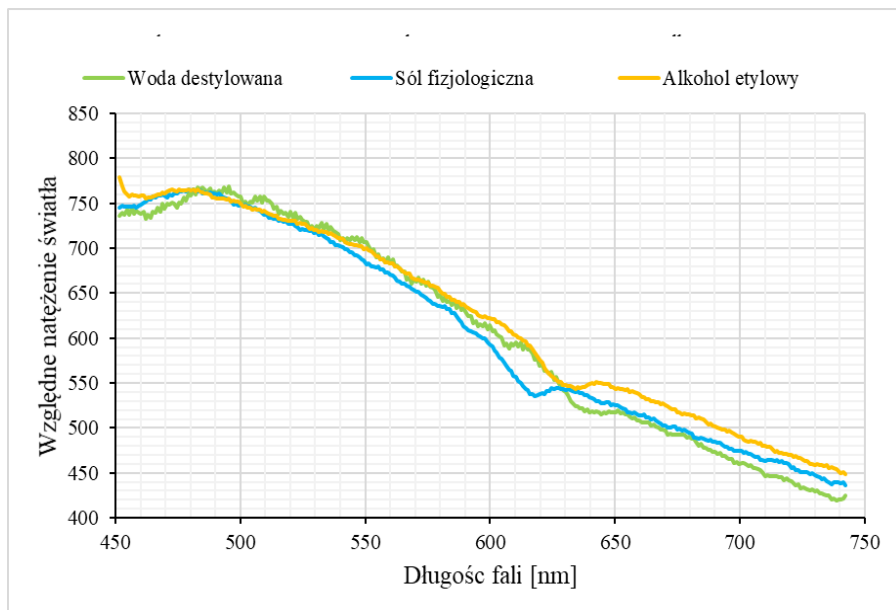


Rys. 6. Schemat połączenia elementów sterujących

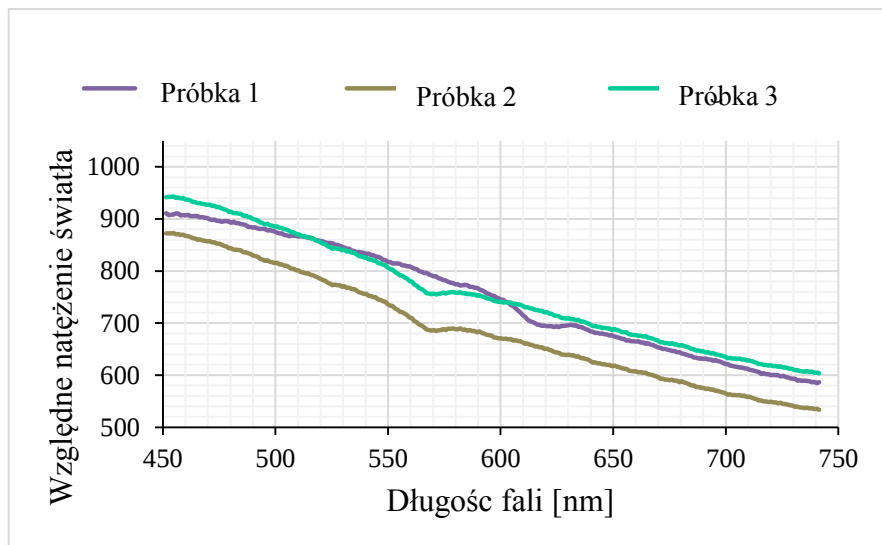
4. Badanie absorbancji próbki sypkiej

Materiałem do badań były próbki gleby z trzech różnych lokalizacji Lublina. W spektrofotometrze zostały one zbadane w postaci zawiesiny z wodą destylowaną. Przed przystąpieniem do badań właściwych przeprowadzone

zostały testy próbne z wykorzystaniem próbek wody destylowanej, soli fizjologicznej oraz barwnego alkoholu etylowego (ośrodki o większej przepuszczalności promieniowania elektromagnetycznego).



Rys. 7. Zależność względnego natężenia światła od długości fali dla trzech roztworów wodnych



Rys. 8. Zależność względnego natężenia światła od długości fali dla trzech różnych próbek gleby

Zarejestrowane odczyty z badań wstępnych i docelowych z urządzenia spektrofotometrycznego (mieszczące się w zakresie długości fali 800–1100 nm) zostały zapisane przez program Realterm i przedstawione w formie wykresu zależności względnego natężenia światła od długości fali. Przy analizie pomiarów należy przyjąć, że im wysokie wartości względnego natężenia światła na wykresie odpowiadają niskim ilości energii promieniowania padającej na detektor.

5. Podsumowanie i wnioski

Spektrofotometr został wykonany części stanowiska do badania próbek sypkiej do zastosowania w mobilnej praformie sensorycznej „Orion”. Założenia dotyczące zbudowania układu pomiarowego skonstruowanego z łatwo dostępnych elementów zostały spełnione. Wykonany spektrofotometr jest częścią projektu, który będzie rozbudowywany i udoskonalany. Modyfikacje urządzenia zapewnia prostota budowy oraz stworzone nieskomplikowane oprogramowanie. W następnych etapach projektu jest planowane połączenie i synchronizowanie pracy spektrofotometru z pozostałymi częściami stanowiska do pomiaru właściwości fizykochemicznych próbki sypkiej oraz realizacja koncepcji przewodniej dotyczącej zautomatyzowania całego procesu pomiarowego.

Przeprowadzone badania udowodniły, że urządzenie spektrofotometryczne jest sprawne. Uzyskane wykresy odpowiadają teoretycznym charakterystykom względnej czułości spektralnej diody w zależności od długości fali. Na podstawie testów wstępnych można stwierdzić, że woda destylowana charakteryzuje się najmniejszą absorpcją w stosunku do pozostałych substancji. Wyniki analiz właściwych poszczególnych próbek ziemi są do siebie bardzo zbliżone, dlatego też rozróżnienie ich pochodzenia na podstawie badań tym urządzeniem byłoby możliwe dopiero po odpowiednim przetworzeniu danych pomiarowych, a także docelowo po rozbudowie i poprawieniu parametrów spektrofotometru.

Podczas obróbki danych pomiarowych zaobserwowano wysokie wahania wartości między kolejnymi, sąsiadującymi ze sobą odczytami (pojawiające się w postaci tzw. piki), które prawdopodobnie są wynikiem zakłóceń. W celu eliminacji zakłóceń dynamika układu mechanicznego została skorygowana, po przez zmniejszenie wpływu drgań silnika krokowego na układ optyczny. Po wprowadzeniu modyfikacji poziom zakłóceń zmniejszył się nieznacznie. Wnikliwa analiza problemu wskazuje, że źródłem pików mogą być niekontrolowane odbicia promieniowania wewnątrz urządzenia. Dla uzyskania dokładniejszych analiz spektrofotometr należy przeprojektować z uwzględnieniem: wykorzystanie odbłyśnika przy źródle światła, wydłużenia toru układu

optycznego, maksymalne zwężenia wiązki promieniowania padającej na detektor zapewne przez przysłonę o mniejszej szerokości szczeliny, a także zastosowanie rozbudowanej matrycy diodowej umożliwiające detekcję równoległą z uwzględnieniem jej charakterystyki.

Literatura

- [1] http://www.chemia.uni.lodz.pl/kchs/index_pliki/Dokumenty/UV.pdf
<http://www.jac-entra.pl/> (dostęp 28.06.2020).
- [2] Cygański A., *Metody spektroskopowe w chemii analitycznej*, WNT, Warszawa, 1993.
- [3] Jarosz M., *Nowoczesne techniki analityczne*, Oficyna Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2006.
- [4] Nowacka-Jankowska T., *Spektrofotometria UV/VIS w analizie chemicznej*, PWN, Warszawa, 1988.
- [5] <https://www.tme.eu/Document/6e99b1913fbc0fe00696576d9731bc3a/BPW34-V.pdf> (dostęp 28.06.2020).
- [8] <https://www.instructables.com/id/A-simple-DIY-spectrophotometer/> (dostęp 28.06.2020).

Krzysztof BOROWY¹, Andrzej GAWLIK², Adam KONIUSZY²

¹Studenckie Koło Naukowe „Odnawialni”;

²Katedra Inżynierii Odnawialnych Źródeł Energii,

Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

PROJEKT INSTALACJI FOTOWOLTAICZNEJ DLA ŁODZI REKREACYJNEJ

1. Wstęp

W rozwijającym się społeczeństwie zapotrzebowanie na energię elektryczną stale rośnie. Wysokie tempo rozwoju, dostępność większej ilości urządzeń technicznych, zwiększająca się liczba ludności i szybkie tempo urbanizacji sprawiają, że wzrasta również zapotrzebowanie na energię. Jest ona w głównej mierze wytwarzana z paliw kopalnych, ale te zaczynają być już w dużej mierze niewystarczające. Dodatkowo, korzystanie z nieodnawialnych źródeł energii wiąże się z degradacją środowiska. Na szczęście ochrona naturalnych zasobów w ostatnich latach staje się istotnym tematem, bardzo często pojawiającym się w świadomości opinii publicznej. Społeczeństwo w chwili obecnej częściej zwraca się z tego powodu ku alternatywnym źródłom energii. Ich obecność na rynku staje się coraz bardziej zauważalna i chętniej wykorzystywana, zarówno przez użytkowników indywidualnych, jak i przedsiębiorstwa. Jednym z ważniejszych źródeł „zielonej” energii jest ta pozyskiwana ze słońca.

Fotowoltaika znajduje swoje zastosowanie w bardzo wielu aspektach technologicznych i użytkowych. Jednym z nich są systemy napędowe. Energia słoneczna nie jest co prawda dostępna przez całą dobę, w dodatku jest bardzo rozproszona, ale przy odpowiednim zapleczu technicznym, można ją opłacalnie magazynować. W takim przypadku fotowoltaika może służyć za źródło napędu dla silników elektrycznych, które tym samym są świetną alternatywą dla silników spalinowych. Silniki elektryczne bowiem, w przeciwieństwie do tych napędzanych paliwami nieodnawialnymi, dysponują zdecydowanie większą mocą i nie wytwarzają spalin. Poza tym nie generują hałasu i oferują maksymalny moment obrotowy praktycznie natychmiast.

2. Instalacje off-grid

Sieci off-grid sprawdzają się tam, gdzie nie ma dostępu do publicznej sieci elektroenergetycznej. To rozwiązanie nie wymaga konieczności montowania drugiego licznika energii i rozliczania się z operatorem za wprowadzoną do sieci energię. Największą zaletą tego typu rozwiązania jest duża mobilność. Sieć wyspowa może służyć do zasilania każdego rodzaju urządzenia poruszające się, ale też takie, które nie są zamontowane na stałe, ponieważ nie są związane z sieciami elektroenergetycznymi. Podczas projektowania instalacji wyspowej należy oszacować pobór maksymalnej mocy chwilowej i dobowe zużycie energii. Na tej podstawie można dobrać odpowiednie panele. Kolejnym krokiem jest dobór akumulatorów. Pojemność baterii określa się, zwracając uwagę na zalecenia i wytyczne ich producenta, a także wartość kompensacji energii. Uwzględnia się także rodzaj zastosowanej przetwornicy napięcia. Z kolei przy doborze przetwornicy zaleca się, aby jej moc była o połowę wyższa, od mocy wszystkich pracujących jednocześnie urządzeń w danym systemie [5].

3. Metodyka projektowa

W celu wykonania projektu należało najpierw określić masę własną łodzi i moc silnika, następnie określić ilość energii potrzebną do zasilenia napędu. Na tej podstawie dobrać wielkość i moc paneli. Kolejnym krokiem był dobór akumulatorów o odpowiedniej pojemności i wybór regulatora ładowania. Panele fotowoltaiczne mają zostać zlokalizowane na konstrukcji, która będzie jednocześnie pełniła funkcję daszku chroniącego przed warunkami atmosferycznymi. Obliczenia kosztów całej instalacji dokonano na podstawie aktualnych ofert rynkowych producentów poszczególnych komponentów.

3.1. Dobór kadłuba

Do projektu wybrano aluminiowy kadłub łodzi płaskodennej, posiadającej podwójne dno, charakteryzującej się lepszymi parametrami pływalności i niezatapialności. Długość kadłuba to 430 cm, szerokość to 156 cm, natomiast masa – 166 kg. Wyporność wynosi 380 kg. Na podstawie parametrów wyporności stwierdzono, że nośność łodzi wyniesie: $380\text{ kg} - 166\text{ kg} = 214\text{ kg}$. Oznacza to, że cała projektowana instalacja, wraz z wyposażeniem, nie powinna przekroczyć tego limitu kilogramów.

3.2. Dobór jednostki napędzającej

Do powyższego kadłuba należy dobrać silnik. Ze względu na stosunkowo niewielki, jak na łodzi, rozmiar kadłuba, będzie to zaburtowa jednostka

elektryczna. Kolejne kryterium stanowiła możliwość osiągnięcia prędkości ekonomicznej czyli takiej, przy której łódź będzie w stanie pokonać jak największy dystans, zużywając jak najmniej energii na pokonanie jednostki odległości. Aby łódź osiągała efektywną prędkość ekonomiczną, czyli między 6 a 10 km/h, bez względu na warunki pogodowe, silnik musi posiadać odpowiedni uciąg. Musi więc mieć możliwość napędzenia statku przy oporach stawianych przez wodę, wiatr i masę własną jednostki. Ważne jest to, żeby jednostka nie przekroczyła określonej w prawie polskim mocy 10 kW [20], powyżej której do prowadzenia jachtu będą potrzebne dodatkowe uprawnienia. Istotne jest też, by silnik charakteryzował się niewielką masą. Według tabeli 1, która pokazuje zalecenia jednego z producentów, uciąg silnika powinien wynosić między 55 a 120 lbs. Posiłkując się wszystkimi wyżej wymienionymi informacjami, wybrano jednostkę o mocy 55 W.

3.3. Dobór instalacji solarnej

Aby możliwe było operowanie łodzią również po zmierzchu, wybrano halogen LED do doświetlenia trasy i oświetlenie oparte na taśmie LED, aby uwidocznić samą jednostkę. Przy założeniu, że silnik w ciągu doby pracuje przez 8 godzin, całkowita moc potrzebna na zasilenie silnika powinna wynosić:

$$55\text{W} \cdot 8\text{h} = 440\text{Wh}.$$

Moc na zasilenie oświetlenia, przy założeniu, że oświetlenie będzie włączone przez 6 godzin:

$$10\text{W} + (10 \cdot 10\text{W}) = 110\text{W}, \text{czyli } 110\text{W} \cdot 6\text{h} = 660\text{Wh}.$$

Na zasilenie dodatkowych urządzeń, o mocy do 15 W, przez 6 godzin:

$$15\text{W} \cdot 6\text{h} = 90\text{Wh}.$$

Łączne zużycie energii podczas całej doby szacowane jest na:

$$440\text{Wh} + 660\text{Wh} + 90\text{Wh} = 1190\text{Wh} = 1,19\text{kWh}.$$

Napięcie w całej instalacji wynosić będzie 12 V, więc pojemność akumulatorów powinna wynieść nie mniej niż:

$$1190\text{Wh} : 12\text{V} = 99,17\text{Ah}.$$

Do instalacji dobrany został zestaw solarny, w którego skład wchodzi dwa elastyczne panele fotowoltaiczne każdy o mocy 180 W, regulator ładowania oraz kable i elementy mocujące. Jest to zestaw dedykowany do zasilania kamperów. Do tego zestawu zaleca się akumulatory o pojemności od 200 Ah do 400 Ah. Określono więc wartość pośrednią jako 300 Ah i na tej podstawie dobrano dwa akumulatory o pojemności 150 Ah każdy.

Tabela 1. Dobór silnika ze względu na wymiary łodzi [16]

Dobór Silnika do Łodzi.														
W prawidłowym doborze silnika, kierujemy się szerokością łodzi wg tabeli, jeśli długość łodzi jest większa niż podana w tabeli to wybór należy dokonać według długości.														
Szer.	100cm	120cm	125cm	130cm	135cm	140cm	145cm	150cm	155cm	160cm	170cm	180cm	220cm	220cm
Dł. Max	200cm	250cm	280cm	310cm	360cm	380cm	400cm	420cm	440cm	470cm	490cm	510cm	550cm	550cm
Uciąg														
Lbs.														
20	5	4	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
30	5+	5+	5+	5	4	3	2	X	X	X	X	X	X	X
36	5+	5+	5+	5+	5	4	3	2	1	X	X	X	X	X
40	XX	5+	5+	5+	5+	5	4	3	2	1	X	X	X	X
45	XX	5+	5+	5+	5+	5+	5	4	3	2	1	X	X	X
50	XX	XX	5+	5+	5+	5+	5+	5	4	3	2	1	X	X
55	XX	XX	5+	5+	5+	5+	5+	5+	5	4	3	2	1	X
60	XX	XX	5+	5+	5+	5+	5+	5+	5	4	3	2	1	X
80	XX	XX	XX	XX	5+	5+	5+	5+	5	4	3	2	1	X
100	XX	XX	XX	XX	5+	5+	5+	5+	5	4	3	2	1	X
110	XX	XX	XX	XX	5+	5+	5+	5+	5	4	3	2	1	X
120	XX	XX	XX	XX	5+	5+	5+	5+	5	4	3	2	1	X
220	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX

5 - prawidłowo dobrany silnik na zmienne warunki pogodowe
 4 - prawidłowo dobrany silnik na umiarkowane warunki pogodowe
 3 - dobór akceptowalny na spokojne warunki pogodowe
 2 - dobór akceptowalny na spokojne warunki pogodowe (słabe osiągi)
 1 - dobór jako silnik awaryjny
 X - nie nadaje się
 XX - za duży (w niektórych przypadkach możliwy do zainstalowania , przełoży się na dużą prędkość)
 5+ - większa prędkość

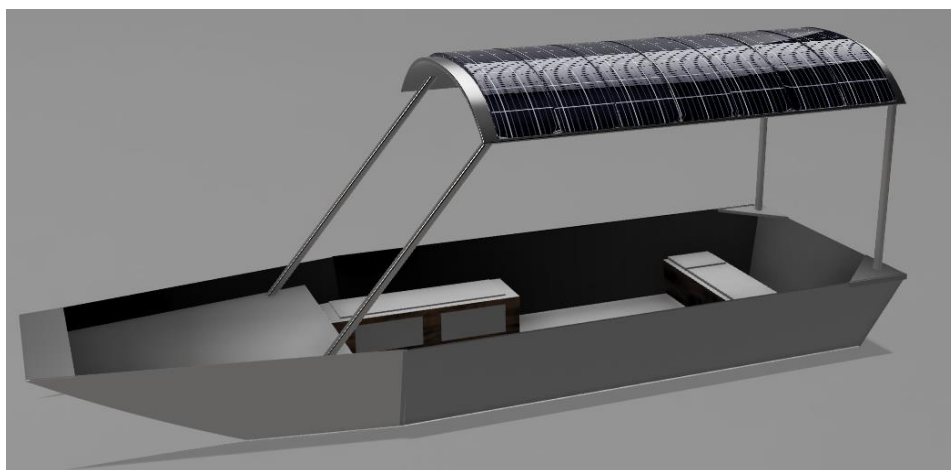
3.4. Wymagania techniczne

Jako drugi, awaryjny napęd, zastosowano składane wiosła. Na zbudowanie stelażu pod panele fotowoltaiczne, potrzebne będzie około 15 rurek o długości 100 cm. Akumulatory jako najcięższe elementy instalacji, powinny zostać umieszczone w centralnym miejscu łodzi. Rurki na stelaż powinny zostać odpowiednio dogięte i zespawane, tak aby stworzyć rusztowanie pod panele fotowoltaiczne, jak to przedstawia wizualizacja projektu. Stelaż powinien być zamontowany tak, aby dać użytkownikom możliwość stania w pozycji wyprostowanej. Powinien więc zapewniać użytkownikom około 2 m wolnej przestrzeni pod szczytowym elementem konstrukcji. Montaż paneli możliwy jest zarówno poprzez przykręcenie, jak i przyklejenie ich do stelażu. Profil gięcia paneli powinien być symetryczny. Przy prawidłowym podłączeniu i zabezpieczeniu odpowiednim środkiem połączeń, cała instalacja powinna być szczelna i wodoodporna. Jednak należy okresowo sprawdzać jej stan i kontrolować, czy nie pojawiają się ewentualne uszkodzenia. W obowiązkowym wyposażeniu powinny też znaleźć się kamizelki ratunkowe. Masa wszystkich zastosowanych komponentów nie może przekroczyć wartości nośności łodzi, która została określona jako 214 kg. Masa poszczególnych elementów została przedstawiona w tabeli 2.

Tabela 2. Masa elementów konstrukcyjnych projektu

Masa paneli	2×4 kg
Masa akumulatorów	2×45 kg
Masa regulatora ładowania	1,3 kg
Masa silnika	10 kg
Masa konstrukcji rurowej	15×0,05 kg
Masa halogenu	0,18 kg
Masa pozostałego wyposażenia (wioseł, kamizelek)	ok.4 kg
Łączna masa instalacji i wyposażenia: ok.114 kg	
Masa kadłuba	166 kg
łącznie masa łodzi: 280 kg	

Łączna masa instalacji i wyposażenia wynosi ok. 114 kg. Jest to dopuszczalna masa. Łącznie masa łodzi to 280 kg. Bezpieczna ilość osób, które mogą korzystać jednocześnie z łodzi, została określona jako dwie. Wizualizację projektu przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Wizualizacja projektu łodzi

3.5. Koszt projektu

Koszt projektu, wyliczony na podstawie cen producentów, przedstawiono w tabeli 3. Koszt całego projektu to 23 914,01 zł.

Tabela 3. Koszt poszczególnych elementów łodzi

Kadłub aluminiowy	12 900,00 zł
Zestaw fotowoltaiczny (elastyczne panele fotowoltaiczne, regulator ładowania, okablowanie, przyłącza)	3 323,81 zł
Akumulatory żelowe	2 × 1 170,00 zł
Zaburtowy silnik elektryczny	4 220,00 zł
Taśma LED RGB	2 × 171,40 zł
Halogen LED	24,99 zł
Wiosła składane	2 × 39,00 zł
Rurki aluminiowe – 7/6 × 1000 mm	15 × 28,00 zł
Kamizelki ratunkowe	2 × 99,49 zł
Modułowy wyłącznik nadprądowy – 10 A, 6 kA	5,73 zł
Przetwornica step-down z gniazdem USB – 5 V, 3 A	9,95 zł
Środek zabezpieczający styki przed wodą	49,75 zł

4. Podsumowanie i wnioski

Łódź może służyć zarówno do celów turystycznych, jak i wędkarskich. Budowa łodzi i jej niewielkie gabaryty pozwalają na żeglugę po jeziorach i rzekach. Panele słoneczne tworzą daszek, zapewniający użytkownikom osłonę przed warunkami atmosferycznymi. Wysokość daszku zapewnia użytkownikom

możliwość przebywania pod nim w pozycji wyprostowanej. Pozwala to na większą swobodę na przykład podczas wędkowania. Rozmieszczenie akumulatorów obniża środek ciężkości całej konstrukcji, dzięki czemu łódź jest stabilniejsza. Dzięki zastosowaniu zasilania energią słoneczną podczas eksploatacji jacht nie stanowi obciążenia dla środowiska. Zastosowanie silnika elektrycznego zapewnia cichą i komfortową żeglugę.

Literatura:

- [1] Tytko R., *Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej*. Wydawnictwo Towarzystwa Słowaków w Polsce, wyd. III. Kraków, 2014.
- [2] Smolec W., *Fototermiczna konwersja energii słonecznej*, PWN Warszawa, 2000.
- [3] Lewandowski W.M., *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, Wydanie IV. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2007.
- [4] Ligus M., *Efektywność inwestycji w odnawialne źródła energii*, Wydawnictwo CeDeWu, Warszawa, 2010.
- [5] Sarniak M.T., *Budowa i eksploatacja systemów fotowoltaicznych*, Zeszyty dla elektryków, nr 13. Wydawnictwo Grupa Medium, Warszawa, 2015.
- [6] Haber F., *Podręcznik sternika i starszego sternika motorowodnego*, Wydawnictwo Wielki Błękit, Warszawa, 2009.
- [7] Czajewski J., *Encyklopedia Żeglarstwa*, PWN, Warszawa, 1996.
- [8] <https://www.prs.pl/> (dostęp 2020.03.21).
- [9] <http://www.greendreamboats.com/solliner/> (dostęp 2020.03.21).
- [10] <https://marynistyka.pl/lodzie-motorowe/101-budowa-i-podzial-jachtow-motorowych.html> (dostęp 2020.03.21).
- [11] <http://renovi.pl/naslonecznienie-w-polsce/> (dostęp 2020.03.21).
- [12] <http://bremaboats.pl> (dostęp 2020.03.21).
- [13] <http://www.magnum-x.pl/artukul/lodzie-solarne> (dostęp 2020.03.21).
- [14] <http://www.instsani.pl/526/projektowanie-instalacji-wyspowych> (dostęp 2020.03.21).
- [15] <https://www.gospodarkamorska.pl/artykuly/projekt-i-badania-jednostki-plywajacej-zasilanej-energia-sloneczna.html> (dostęp 2020.03.21).
- [16] <https://www.mc-sklep.pl/dobor-silnika-porady-pm-42.html> (dostęp 2020.03.21).
- [17] <https://leszekbober.pl/fizyka/ciala-stale-i-ciecze/prawo-archimedes/> (dostęp 2020.03.21).
- [18] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001r. – Prawo ochrony środowiska (Dz.U. z 2019 r. poz. 1396).
- [19] Ustawa z dnia 5 grudnia 2002r. – Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie pomiarów statków żeglugi śródlądowej (Dz.U. 2003 nr 4 poz. 40).
- [20] Ustawa z dnia 21 grudnia 2000r. o żegludze śródlądowej (Dz.U. 2001 nr 5 poz. 43).

**Kamil STEMPOWSKI¹, Krzysztof BOROWY¹, Andrzej GAWLIK²,
Adam KONIUSZY²**

¹Studenckie Koło Naukowe „Odnawialni”;

²Katedra Inżynierii Odnawialnych Źródeł Energii,

Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa, Zachodniopomorski Uniwersytet
Technologiczny w Szczecinie

WPLYW NATĘŻENIA RUCHU POJAZDÓW SPALINOWYCH NA STĘŻENIE SUBSTANCJI SZKODLIWYCH W POWIETRZU NA TERENACH REKREACYJNYCH SZCZECINA

1. Substancje szkodliwe w powietrzu

Transport lądowy w dużej mierze uzależniony jest od paliw konwencjonalnych (olej napędowy i benzyna). Rosnące zainteresowanie ochroną środowiska spowodowało, iż coraz więcej uwagi poświęca się toksycznemu oddziaływaniu ww. substancji na jego stan. Spalanie substancji ropopochodnych negatywnie wpływa na jakość powietrza atmosferycznego [1]. Według Witaszek, transport samochodowy jest najmniej ekologicznym sposobem przemieszczania się. Jak podaje literatura [2], transport stanowi jedno z podstawowych źródeł zanieczyszczeń gazowych i pyłowych emitowanych do powietrza atmosferycznego na terenach aglomeracji miejskich. Emisja substancji szkodliwych na niewielkiej wysokości, do której źródeł zliczmy m.in. samochody, powoduje występowanie smogu. Smog to nienaturalne zjawisko atmosferyczne, polegające na współistnieniu zanieczyszczeń pyłowych oraz niekorzystnych warunków atmosferycznych: tj. wysoka wilgotność powietrza i brak wiatru [3].

Stopniowe zwiększenie poziomu świadomości ekologicznej doprowadziło do wprowadzania na rynek pojazdów bezemisyjnych. Pojazdy o napędzie elektrycznym charakteryzują się prostą budową, wysokim poziomem bezpieczeństwa, a także elastycznością. Ich podstawowym atutem jest fakt, że nie emitują do powietrza zanieczyszczeń. Pojazd o napędzie elektrycznym jest zeroemisyjny [1]. Silnik w tych pojazdach nie wibruje, a co za tym idzie, nie emituje hałasu. W niniejszej pracy podjęto się analizy tego, jaki wpływ na zmniejszenie emisji gazów i pyłów w centrum miasta miałyby wprowadzenie samochodów bezemisyjnych. W tym celu dokonano pomiarów sondą ATMON FL, posiadającą zdolności pomiarowe: IAQ , SO_2 , NO_2 , H_2S , $\text{PM}_{2,5}$ i PM_{10} .

Do pomiarów wybrano miejsca rekreacji, w najbardziej sprzyjających warunkach atmosferycznych – dni słoneczne i bezwietrzne. W pracy skupiono się na przedstawieniu zalet, jakie niesłoby wprowadzenie pojazdów bezemisyjnych w celu zminimalizowania ilości wprowadzanych zanieczyszczeń pyłowych i gazowych do atmosfery wytworzonych przez pojazdy spalinowe.

Na terenach zurbanizowanych występuje duże prawdopodobieństwo wysokiej koncentracji substancji szkodliwych. Źródłem tych zanieczyszczeń są przemysł, zakłady energetyczne i pojazdy spalinowe. Pomiar jakości powietrza i monitorowanie poziomu jego zanieczyszczeń mają duże znaczenie dla ochrony środowiska i zdrowia ludzi. Pomiarami i jakością powietrza w Polsce, zgodnie z prawem, zajmują się stacje Państwowego Monitoringu Środowiska GIOŚ. Zarówno umiejscowienie stacji pomiarowych, jak i metody pomiarowe są znormalizowane, a wyniki publikowane. Wyniki te stanowią najlepszą dostępną informację o ogólnej jakości powietrza w naszym kraju. Nie dają one jednak informacji o chwilowym stężeniu substancji szkodliwych w każdym punkcie miasta. Istnieją obszary, dla których lokalnie powietrze jest mniej zanieczyszczone i miejsca, w których zdrowie ludzkie jest bardziej narażone. Pod szczególnym nadzorem powinny znajdować się obszary rekreacyjne w centrach miast, gdyż na obszarach tych gromadzi się duża liczba osób aktywnych fizycznie.

Do najczęściej występujących na terenach zurbanizowanych, i jednocześnie najgroźniejszych dla zdrowia ludzi, zanieczyszczeń powietrza należą tlenki siarki, w tym dwutlenek siarki pochodzący głównie ze spalania paliw kopalnych – silnie toksyczny związek chemiczny dla roślin i zwierząt. Innym związkiem siarki emitowanym do atmosfery jest H_2S . Powszechnie występują również tlenki azotu pochodzące z produktów spalania silników spalinowych i przemysłu. Są to silnie toksyczne związki chemiczne, będące częścią smogu.

Kolejną grupę zanieczyszczeń stanowią lotne związki organiczne, stanowiące mieszaninę wielu toksycznych substancji, powstających zarówno na skutek działania przemysłowego, jak i transportu. Do substancji szkodliwych zalicza się również ozon troposferyczny. Na szczególną uwagę zasługują pyły zawieszone w powietrzu. W zależności od rozmiarów cząsteczek mogą one powodować choroby płuc – pyły PM_{10} i większe lub nawet wnikać bezpośrednio do krwioobiegu i powodować choroby układu krwionośnego, a pośrednio również negatywnie wpływać na cały organizm ($PM_{2,5}$ – pyły o rozmiarze mniejszym niż $2,5\ \mu m$).

Zanieczyszczenia powietrza stanowią bardzo poważny problem dla zdrowia i życia mieszkańców naszego kraju. Badania jakości powietrza z ostatnich lat pokazują niestety, że na terenie Polski jest bardzo dużo miast o złej jakości powietrza. Spośród 50 najbardziej zanieczyszczonych miast Unii Europejskiej aż 36 leży w naszym kraju. Szacuje się, że w Polsce zanieczyszczenia powietrza są odpowiedzialne za 150 zgonów na 100 tysięcy

mieszkańców rocznie [5]. Trudno oszacować natomiast straty dla gospodarki związane z pogarszaniem się stanu zdrowia obywateli, chorób, zwolnień lekarskich, obciążenia służby zdrowia. Koszty te obciążają w sposób niejawną korzyść z paliw kopalnych i nie są uwzględniane w bilansach ekonomicznych kraju. Sposobem na ograniczenie tych strat i kosztów jest korzystanie z odnawialnych źródeł energii i konsekwentne wprowadzanie do użytku pojazdów bezemisyjnych, szczególnie w centrach miast. Badania naukowe potwierdzają, że wprowadzenie samochodów elektrycznych szczególnie w centrach miast przyczynia się do znacznej redukcji stężenia NO_x, tlenków siarki i pyłów zawieszonych w powietrzu [6].

2. Metody pomiarowe

W badaniach wykorzystano mobilną sondę pomiarową Atmon FL umożliwiającą terenowe pomiary ilości pyłów zawieszonych w powietrzu (PM 2,5; PM 10), tlenku węgla, dwutlenków siarki i azotu oraz siarkowodoru. Urządzenie to pozwala na monitorowanie wybranych obszarów stacjonarnie, jak i mobilnie – podczas pomiarów może być zamontowana na samochodzie i różnego rodzaju dronach. Wbudowany moduł GPS pozwala powiązać wyniki pomiarów z położeniem i wysokością sondy. Pyły zawieszone w powietrzu:

- PM 2,5 i PM 10 $\pm 15\%$; zakres 0–999 $\pm 1\%$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$,
rozdzielczość 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- dwutlenek siarki SO₂: zakres 0–20 ppm $\pm 5\%$,
rozdzielczość 0,05 ppm;
- dwutlenek azotu NO₂: zakres 0–5 ppm $\pm 2\%$,
rozdzielczość 0,02 ppm;
- siarkowodor: H₂S: zakres 0–50 ppm $\pm 1\%$,
rozdzielczość 0,005 ppm.

Ogólny wskaźnik jakości powietrza (europejski wskaźnik jakości powietrza) AQ- zakres 0–100 $\pm 1\%$ ppm, rozdzielczość 0,1 ppm. Wskaźnik ten daje znormalizowany obraz stanu powietrza mierząc sumaryczną zawartość substancji szkodliwych takich jak: PM 10; PM 2,5; NR 2; O₃; CO; SO₂; NH₃; Pb. Spełnia normy zharmonizowane PN-EN 50270–2015; PN-EN 50271–2011, oraz zasadnicze wymagania dyrektyw UE: dyrektywa EMC 2004/108/WE.

2.1. Wybór lokalizacji

Do badań wybrano trzy szczecińskie tereny rekreacyjne cieszące się dużą popularnością, znajdujące się w pobliżu ulic o znacznym natężeniu ruchu. Pierwszy teren wybrany do pomiarów – park i siłownia na świeżym powietrzu w pobliżu skrzyżowania ulic Sebastiana Klonowica i Litewskiej, drugi – park

i plac zabaw – Park Romana Łyczynka, na którym znajduje się plac zabaw i tereny do jazdy na rolkach oraz Skwer Imienia Telesfora Badetki – park, plac zabaw i siłownia na świeżym powietrzu. Wszystkie te punkty sprzyjają rekreacji i aktywności fizycznej. Lokalizacje przedstawiono na rysunku 1.



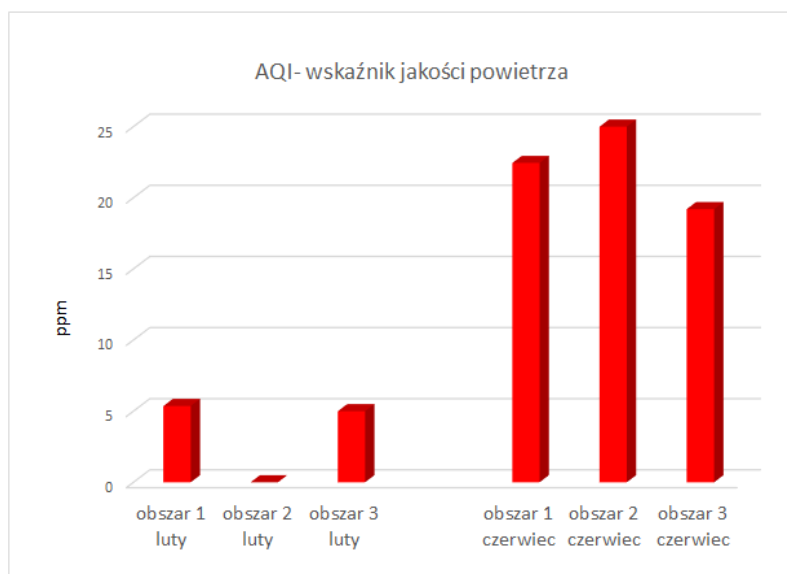
Rys. 1. Obszary wybrane do pomiarów – tereny rekreacyjne w Szczecinie

2.2. Terminy pomiarów

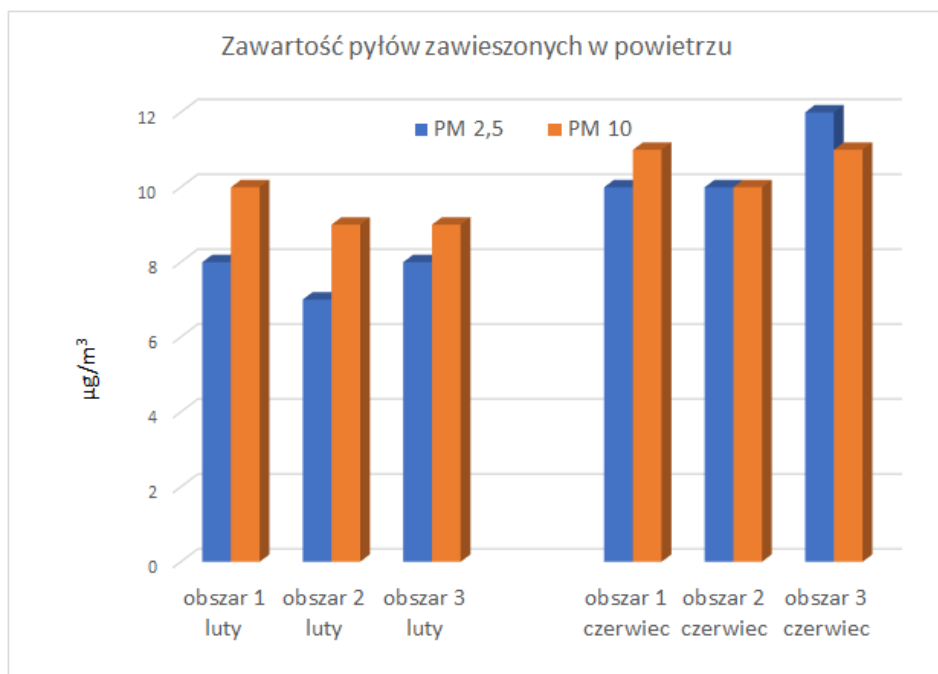
Pierwszą serię pomiarów wykonano 27 lutego 2020, drugą serię 24 czerwca 2020 roku w godzinach 11:00–15:00. W czerwcu w wyniku postępów prac remontowych na al. Wojska Polskiego zwiększył się średni ruch pojazdów mechanicznych w badanym rejonie w porównaniu z lutym 2020 r.

2.3. Wyniki

Zmierzone stężenia substancji szkodliwych w powietrzu w wybranych miejscach nie przekraczały dopuszczalnych norm i okazały się lepsze, niż można się było spodziewać. Nie zanotowano mierzalnych stężeń dwutlenku siarki i dwutlenku azotu i siarkowodoru. Niepokojący wydaje się wzrost wartości wskaźnika jakości powietrza, który można interpretować jako ogólną zawartość substancji szkodliwych i drażniących. Spowodowane to może być wzrostem natężenia ruchu kołowego w porównaniu z pierwszym terminem pomiarów. Zmiany wynikają z postępów prac remontowych i zwiększenia natężenia ruchu na al. Wojska Polskiego w Szczecinie (Rys. 2 i 3).



Rys. 2. Wyniki pomiarów wskaźnika jakości powietrza w ppm – ilości cząsteczek na milion



Rys. 3. Wyniki pomiarów ilości cząsteczek pyłów zawieszonych w powietrzu w $\mu\text{g}/\text{m}^3$

3. Wnioski

Wyniki pomiarów substancji szkodliwych pokazały silną zależność ich zawartości od ruchu samochodów na pobliskich ulicach. Wybrane tereny rekreacyjne są względnie bezpieczne dla osób wypoczywających i uprawiających sport. Stężenie substancji szkodliwych z końca czerwca, mimo, że nie przekracza dopuszczalnych norm, nie zachęca do dłuższego uprawiania sportu na świeżym powietrzu w badanych lokalizacjach. Poprawić sytuację może albo ograniczenie ruchu pojazdów spalinowych, albo wprowadzenie znaczącej ilości pojazdów bezemisyjnych.

Artykuł zrealizowany dzięki wsparciu finansowemu PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A.- sponsora sondy pomiarowej.

Literatura

- [1] Babula M., Pietruszczak D., Wybrane aspekty ekologicznych pojazdów samochodowych. *Autobusy* 6, 2017.
- [2] Idzior M, Czapliński E, Bor M., Wpływ transportu samochodowego na zanieczyszczenie powietrza pyłem zawieszonym PM10 i PM 2,5, Eksploatacja i testy, *Autobusy* Nr 6/2017, s. 739–742.
- [3] Pawlak S., Wielkopolska Agencja Zarządzania Energią Sp. z o.o. SMOG – przyczyny, skutki, sposoby walki, stan powietrza w regionie leszczyńskim, 2017.
- [4] Witaszek M., Witaszek K., Emisja wybranych, toksycznych składników spalin przez różne środki transportu, *Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, Transport*, 29/2015, s.105–112.
- [5] Lelieveld J. i in., Cardiovascular disease burden from ambient air pollution in Europe reassessed using novel hazard ratio functions. *European Heart Journal*, Vol. 40(20)/2019, s. 1590–1596.
- [6] Radović U., Wpływ samochodów elektrycznych na polski system elektroenergetyczny, emisję CO₂ oraz inne zanieczyszczenia powietrza, *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk*, Nr 104/2018, s. 69–84.
- [7] Google Maps: <https://www.google.com/maps> (dostęp: 17.03.2020).

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 Kisała

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 Sydorchuk, 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.wei.pollub.pl>

e-mail: rekrutacja.wei@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

Elektroniczna aparatura i informatyka medyczna
Technologie wytwarzania w inżynierii biomedycznej

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.)

Systemy mobilne w mechatronice
Mechatronika samochodowa

WIĘCEJ O REKRUTACJI NA

<http://rekrutacja.wei.pollub.pl>

tel. 81 5384742

