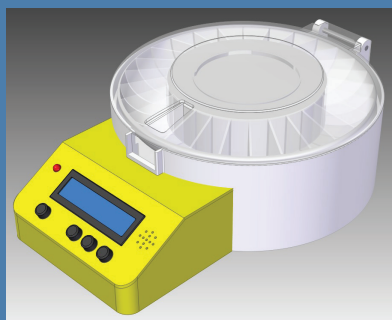
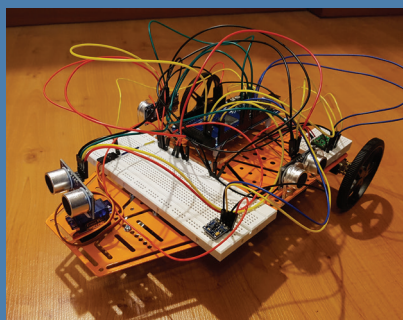
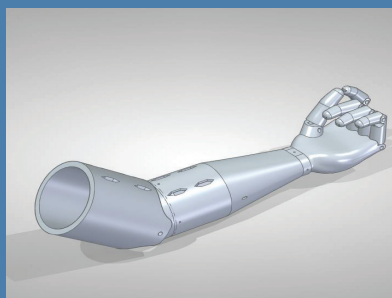
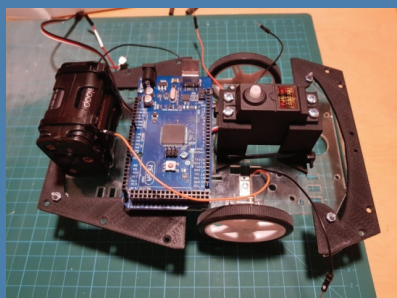


# Problemy Współczesnej Inżynierii

Wybrane zagadnienia elektroniki, informatyki i inżynierii biomedycznej



redakcja

*Paweł A. Mazurek*

*Sebastian Styła*

*Tomasz N. Kołtunowicz*

*Andrzej Kociubiński*

*Piotr Z. Filipek*

Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej

Lublin 2018

# Problemy współczesnej inżynierii

Wybrane zagadnienia elektroniki, informatyki  
i inżynierii biomedycznej



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

# Problemy współczesnej inżynierii

## Wybrane zagadnienia elektroniki, informatyki i inżynierii biomedycznej

redakcja:

Paweł A. Mazurek

Sebastian Styła

Tomasz N. Kołtunowicz

Andrzej Kociubiński

Piotr Z. Filipek



Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej  
Lublin 2018



Recenzenci:

członkowie Komitetu Naukowego VIII Sympozjum Elektryków i Informatyków

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

© Copyright by Politechnika Lubelska 2018

ISBN: 978-83-7947-335-9

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

Druk: TOP Agencja Reklamowa Agnieszka Łuczak  
[www.agencjatorp.pl](http://www.agencjatorp.pl)

---

Elektroniczna wersja książki dostępna w Bibliotece Cyfrowej PL [www.bc.pollub.pl](http://www.bc.pollub.pl)  
Nakład: 100 egz.

## SPIS TREŚCI

|                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| PRZEDMOWA                                                                                                                                              | 7   |
| 1 <b><i>MECHANICZNA PROTEZA KOŃCZYNY GÓRNEJ<br/>WYKONANA Z WYKORZYSTANIEM TECHNOLOGII<br/>DRUKU 3D</i></b><br>Daria SAGAN, Klara SIRAK                 | 9   |
| 2 <b><i>ELEKTRONIKA MEDYCZNA W ODZIEŻY</i></b><br>Robert MAZUREK, Agnieszka NAUMIUK                                                                    | 19  |
| 3 <b><i>AUTOMATYCZNY POJEMNIK NA LEKI STEROWANY<br/>MIKROKONTROLEM</i></b><br>Patrycja TYMIŃSKA                                                        | 33  |
| 4 <b><i>PROJEKT I WYKONANIE ROBOTA MOBILNEGO<br/>STEROWANEGO MIKROKONTROLEM</i></b><br>Konrad WÓJCIK                                                   | 49  |
| 5 <b><i>WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI ELEKTRYCZNE<br/>NANOKOMPOZYTÓW METAL-DIELEKTRYK<br/>WYTWORZONYCH W ATMOSFERZE CZYSTEGO ARGONU</i></b><br>Michał Karol LECH | 67  |
| 6 <b><i>WSPOMAGANIE PROJEKTOWANIA LINII NISKICH NAPIĘĆ<br/>PRZY POMOCY PROGRAMU ENSTO DESIGNER SUITE</i></b><br>Michał Karol LECH                      | 84  |
| 7 <b><i>POMIARY BIOIMPEDANCJI ELEKTRYCZNEJ I ICH<br/>ZNACZENIE DLA ZDROWIA CZŁOWIEKA</i></b><br>Paulina PŁONKA                                         | 95  |
| 8 <b><i>ROBOT MOBILNY DO TWORZENIA MAPY<br/>POMIESZCZENIA</i></b><br>Magdalena GOŹDZIUK                                                                | 106 |
| 9 <b><i>"PROGRAMMING CRAFT" CLUB ACTIVITIES</i></b><br>Grygoriy ZASPA, Vladyslav KHARYTONOV,<br>Olexandr OCHERETNII, Rostyslav KRAVCHENKO              | 117 |

|    |                                                                                         |     |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 10 | <b>CRM SYSTEM SALESFORCE. FEATURES<br/>OF DEVELOPMENT ON SALESFORCE</b>                 |     |
|    | Artem KRAVCHENKO                                                                        | 123 |
| 11 | <b>REALIZACJA PRZYKŁADOWEJ APLIKACJI CIĘCIA<br/>W LOCIE WYKORZYSTYWANEJ W PRZEMYŚLE</b> |     |
|    | Krzysztof PASTUSZAK, Arkadiusz WARYSZAK                                                 | 133 |
| 12 | <b>WYDAJNY I NOWOCZESNY C++ NA PLATFORMIE AVR</b>                                       |     |
|    | Wojciech OLECH                                                                          | 149 |
|    | INFORMACJE O VIII SYMPOZJUM NAUKOWYM<br>ELEKTRYKÓW I INFORMATYKÓW                       | 165 |
|    | SPONSORZY I INSTYTUCJE WSPIERAJĄCE VIII SYMPOZJUM<br>NAUKOWE ELEKTRYKÓW I INFORMATYKÓW  | 166 |
|    | PATRONI VIII SYMPOZJUM NAUKOWEGO ELEKTRYKÓW<br>I INFORMATYKÓW                           | 167 |

## PRZEDMOWA

*Szanowni Uczestnicy i Sympatycy Sympozjum, Czytelnicy*

Kolejne ósme, Sympozjum Naukowe Elektryków i Informatyków SNEiI już za nami. Tym razem wydarzenie zostało zorganizowane w miesiącu kwietniu. Inicjatywa organizacji ciągle spoczywa na Studenckich Kołach Naukowych oraz Wydziałowym Samorządzie Studenckim, a rozpoznawalność i ponadregionalny charakter wydarzenia dowodzi profesjonalizmu tych działań.

Patronat honorowy nad Sympozjum objął ponownie Lubelski Oddział Stowarzyszenia Elektryków Polskich. W gronie patronujących instytucji było także Polskie Towarzystwo Informatyczne – Koło w Lublinie oraz Lubelski Oddział Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją. Kolejny raz mogliśmy liczyć na wsparcie naszych uczelnianych władz – Jego Magnificencji Rektora Politechniki Lubelskiej prof. dr hab. inż. Piotra Kacejko oraz Pani Dziekan Wydziału Elektrotechniki i Informatyki prof. dr hab. inż. Henryki D. Stryczewskiej.

Gorące podziękowania składamy naszym prelegentom. Otwartą sesję rozpoczął dr inż. Dariusz Szmigiel z Zakładu Technologii Mikrosystemów i Nanostruktur Krzemowych w Instytucie Technologii Elektronowej w Warszawie, a temat prezentacji brzmiał „Technologia krzemowa – kierunki aplikacji”. Kolejnym prelegentem był dr inż. Dariusz Bober reprezentujący Uniwersytet Rzeszowski oraz firmę Lubella Sp. z o.o. Sp. k. z prezentacją „Systemy informatyczne przedsiębiorstw w zarządzaniu procesowym”. Ostatnim prelegentem był inż. Jacek Woźniak, wiceprezes ds. Techniki Lubelskiego Oddziału Stowarzyszenia Elektryków Polskich, który zaprezentował informacje o współpracy SEP z uczelnią oraz zbliżającym się jubileuszowym roku SEP.

Celem naszego Sympozjum jest wymiana wiedzy i doświadczeń praktycznych w gronie studentów, nauczycieli akademickich i przedstawicieli otoczenia społeczno-biznesowego. Tematyka Sympozjum jak co roku, obejmowała obszary dziedzin techniki powiązanych z kierunkami studiów realizowanymi na naszym Wydziale – elektrotechniką, mechatroniką, informatyką oraz inżynierią biomedyczną.

Nasze Sympozjum jest wspaniałą okazją do przeglądu osiągnięć, oceny do-robku i snucia planów naukowych naszych studentów. Duża liczba głoszonych referatów (ponad trzydzieści) mobilizują nas, kadre uczelni do działań wspiera-jących, czego dowodem jest niniejsza publikacja. Cieszą także tegoroczne wy-stąpienia w studenckich panelach reprezentacji studentów z Ukrainy oraz Poli-techniki Łódzkiej. Oddana w Państwa ręce monografia jest opracowaniem na-ukowym, zawierającym zrecenzowane artykuły dotyczące działań, jakie studenci realizują w ramach własnych projektów i prac badawczych.

Jako redaktorzy i współorganizatorzy SNEiI 2018 cieszymy się z dobrego odbioru naszej serii *Problemy Współczesnej Inżynierii* i raz jeszcze dziękujemy wszystkim instytucjom za udzielone wsparcie.

*Redaktorzy*

## **MECHANICZNA PROTEZA KOŃCZYNY GÓRNEJ WYKONANA Z WYKORZYSTANIEM TECHNOLOGII DRUKU 3D**

### **1. WSTĘP**

Dzisiejsza protetyka jest bardzo szybko rozwijającą się dziedziną wiedzy z pogranicza medycyny i techniki. Daje nam ona pełen wachlarz możliwości wykorzystania różnych technologii w celu poprawy komfortu funkcjonowania ludzi niepełnosprawnych. Osoby, które utraciły kończyny bądź urodziły się z wadami genetycznymi powodującymi brak kończyn lub ich części, mogą liczyć na pojawianie się na rynku coraz lepszych rozwiązań mogących przywrócić im sprawność. W związku z tym coraz więcej osób jest szeroko zainteresowanych tą tematyką. Również na uczelniach wyższych powstają koła naukowe starające się podjąć i rozwinąć tę dziedzinę. W ten sposób powstał projekt „MIDAS”. Studenci Politechniki Lubelskiej wraz z innymi chętnymi osobami postanowili zmierzyć się z wyzwaniem, jakim jest pomoc siedmioletniej Natalce. Stworzono projekt protezy ręki.

W medycynie protezę definiuje się jako sztuczne uzupełnienie brakującej części ciała lub narządu. Opisywany projekt zajmuje się rekonstrukcją kończyny górnej. Dlatego też w dalszej części artykułu skupiono się nad podziałem i sposobem wykonania takiej protezy. Dzielimy je na bierne i czynne. Protezy bierne nie ingerują w ciało ludzkie i nie posiadają one zdolności wykonywania ruchu. Należą do nich przede wszystkim protezy kosmetyczne, które w jak największym stopniu powinny odzwierciedlać utraconą kończynę. Głównym celem takiego rozwiązania jest zamaskowanie utraty ręki i tylko w niewielkim stopniu można je wykorzystać do drobnych czynności codziennych. Protezy czynne dzielimy natomiast na mechaniczne i bioelektryczne. Zawierają one części ruchome i zazwyczaj są cięższe od kosmetycznych ze względu na bardziej złożoną budowę. Protezy bioelektryczne są kontrolowane przy pomocy sygnałów bio-

---

<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, Koło Naukowe Elektroników „MICROCHIP”

elektrycznych generowanych przez ludzkie mięśnie. W mechanicznych wykorzystywany jest system linkowy, za pomocą którego możliwe jest wykonywanie ruchów protezy.

Protezy mogą mieć różnorodny kształt bądź wygląd. Zależy on od wizji jej twórcy lub upodobań przyszłego użytkownika. Dzisiejsza technologia pozwala nam na wielokierunkowe działanie i daje wiele możliwości odtwarzania brakujących kończyn.

## **2. CEL PROJEKTU**

Projekt zakłada wytworzenie dwóch wariantów protezy mechanicznej dla siedmioletniej Natalii, która urodziła się bez ręki i części przedramienia. Działanie obu protez będzie podobne jednak sposób kierowania nimi będzie różny. Jedna z nich będzie sterowana barkowo natomiast druga łokciowo.

## **3. NATALKA – CZYLI DLA KOGO PRZEZNACZONY JEST PROJEKT**

Natalia urodziła się bez ręki i części przedramienia kończyny górnej lewej. Rodzice Natalii mieli już wcześniej kontakt z kołem „MICROCHIP”. Trzy lata wcześniej studenci podjęli się skonstruowania pierwszej protezy dla dziewczynki. Jak podali rodzice Natalia korzystała z wcześniejszych protez krótko ponieważ okazały się dla niej zbyt ciężkie i dziewczynka niechętnie je nosiła. Według nich lejek do protezy powodował obtarcia i dziecko zniechęcało się do korzystania z nich. W związku z dorastaniem dziewczynki postanowiono stworzyć kolejną wersję, która będzie odpowiednia w rozmiarze dla aktualnego wzrostu dziecka. Niezwykle ważne jest uwzględnienie wiadomości zwrotnych odnośnie wcześniejszych wersji w konstruowaniu nowego urządzenia.

## **4. WYMAGANIA PROJEKTOWE WYKONYWANYCH PROTEZ**

Protezy przeznaczone dla dzieci mają szczególne wymagania. Pierwszym z nich jest połączenie wytrzymałości z lekkością. Dziewczynka jest w wieku, który skłania ją do eksplorowania otoczenia, cechuje ją chęć poznania świata przy jednoczesnym częstym braku dostrzegania otaczających ją zagrożeń i konsekwencji własnych działań, co może doprowadzić do uszkodzenia protezy. Stawia to przed projektantami trudne zadanie. Ze względu na zdrowie dziecka, które będzie z tego urządzenia korzystać, istotny jest dobór materiału. Musi on być wystarczająco wytrzymały, by nie ulec uszkodzeniu podczas codziennego

użytkowania, a jednocześnie zminimalizuje ciężar protezy. Zbyt ciężka proteza może zniechęcać użytkownika do jej noszenia. Dziecko podczas codziennych zabaw potrzebuje swobody ruchu, ciężar urządzenia może powodować, że dziewczynka będzie miała poczucie braku płynności w wykonywanych ruchach. Ponadto ciekawość dziecka może przyczynić się także do próby rozkręcania sprzętu. Urządzenie musi być dostatecznie zabezpieczone i zaprojektowane tak, aby dziecko nie mogło dostać się do jej wnętrza. Proteza musi być również wykonana proporcjonalnie do wzrostu, aby dziecko czuło się komfortowo i nie zaprzestało jej noszenia. Wzrost jest to cecha indywidualna każdego człowieka. Dzieci powyżej 4 roku życia rosną około pięciu centymetrów rocznie. Szczególnie w fazie dojrzewania następuje szybki rozwój kośćca.

Każda proteza jest wykonywana indywidualnie dla danego użytkownika. Wymiary protezy muszą być dostosowane do wzrostu i budowy ciała. W konsekwencji czego protezy dziecięce muszą być systematycznie wymieniane. Koszty związane z ich wykonaniem nie mogą być wygórowane. W założeniach projektowych przy doborze materiałów brano to pod uwagę. Musimy zapewnić takie warunki by każdy rodzic mógł systematycznie wymieniać protezę, adekwatnie do potrzeb swojego dziecka.

Kolejnym czynnikiem jest nieskomplikowany system obsługi. Korzystanie z urządzenia musi być proste zarówno dla rodzica jak i dziecka. Ważne jest, aby bezproblemowo mogli ją zakładać i zdejmować. Musi być łatwa w użyciu i codziennym funkcjonowaniu. Urządzenie ma pomagać w rozwoju i zabawie, a nie je utrudniać. Zastosowanie prostego systemu zdejmowania i zakładania protezy spowoduje, że dziecko będzie chciało z niej korzystać. Ponadto da rodzicom komfort użytkowania i zaufanie w stosunku do urządzenia.

Duży nacisk w projekcie przywiązywany jest do precyzyjnego dopasowania protezy. Nie może sprawiać bólu czy uczucia dyskomfortu dziecka. Ważne jest precyzyjne dokonanie pomiarów kończyny górnej dziewczynki. Na ich podstawie ustalone zostaną dokładne parametry protezy. Pozwoli to na precyzyjne dopasowanie miejsca złączenia kończyny z protezą.

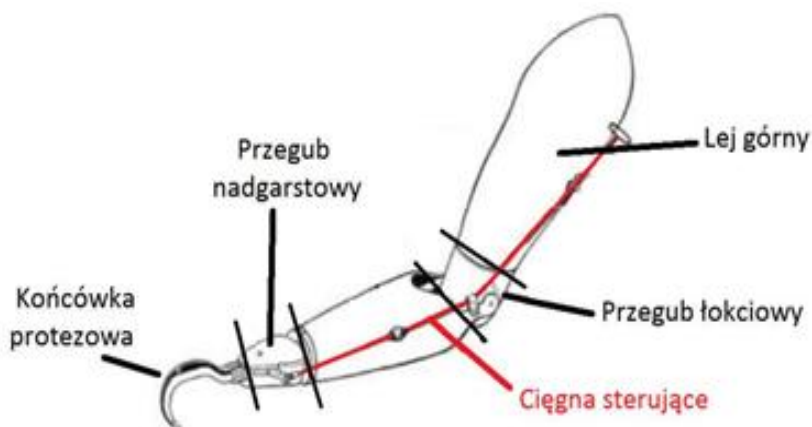
Ważnym aspektem w trakcie projektowania protezy jest uwzględnienie jej walorów estetycznych. Istotne jest aby proteza w jak największym stopniu odzwierciedlała wygląd naturalnej ręki. Ma to znaczenie ze względu na funkcjonowanie dziecka w środowisku rówieśniczym oraz rozwój społeczno-emocjonalny. Jej wygląd odwzorowujący prawdziwą rękę ma uchronić od dyskomfortu związanego z brakiem kończyny czy drwin i odizolowania ze strony rówieśników.



Kolejnym założeniem jest jej funkcjonalność. Zakres zaplanowanych ruchów ułatwi dziewczynce wykonywanie czynności codziennych. Podniesie również jakość samodzielnego funkcjonowania. Pozwoli to dziecku na większą swobodę, a także wspomogę rozwój.

## 5. PROTEZA STEROWANA RUCHEM W STAWIE ŁOKCIOWYM

Jest to proteza mechaniczna, która zastępuje kończynę dziecka. Opiera się na systemie linek sterujących. Ruch elementów protezy odbywa się poprzez napięcie linek sterujących. Jest to najprostsze rozwiązanie konstrukcyjne, a zarazem najczęściej spotykane, ze względu nie tylko na prostotę konstrukcji, ale również koszty wykonania. Sterowanie za pomocą mięśni i elementu pośredniczącego w postaci linek, pozwala na zgięcie i rozprostowanie palców protezy. Proteza ta przymocowana jest za pomocą rzepów do ramienia i przedramienia. Model takiej protezy został zilustrowany na zdjęciu poniżej (rys. 1).



Rys. 1. Model obrazujący zasadę działania protezy sterowanej ruchem w stawie łokciowym [8]

Taki sposób montażu protezy pozwoli na stabilne przymocowanie jej do kończyny górnej. Rzępy nie będą także problematyczne dla dziecka czy rodzica podczas zdejmowania lub zakładania protezy. Jej działanie opiera się na linkach rozciągniętych wzdłuż protezy, które podczas zgięcia ręki w stawie łokciowym naciągają się i powodują zgięcie palców dłoni. Wyprostowanie kończyny górnej w stawie łokciowym wywołuje powrót palców protezy do stanu początkowego. Gumki przymocowane do ręki powodują samoistny powrót palców do pozycji wyjściowej. Wymiana tych elementów nie jest problematyczna przy ewentual-

nych uszkodzeniach. Dziewczynka będzie mogła kontrolować siłę ścisku poprzez kąt pod jakim zgięty będzie łokieć. Im mniejszy będzie kąt między ramieniem a przedramieniem, tym linka zostanie mocniej napięta, wskutek czego uścisk palców będzie większy. Urządzenie to będzie posiadać blokadę pozwalającą na pozostawienie paliczków protezy w określonym położeniu. Umożliwi to wykonywanie czynności, w których palce są zaciśnięte, a łokieć wyprostowany np. w czasie jazdy na rowerze.

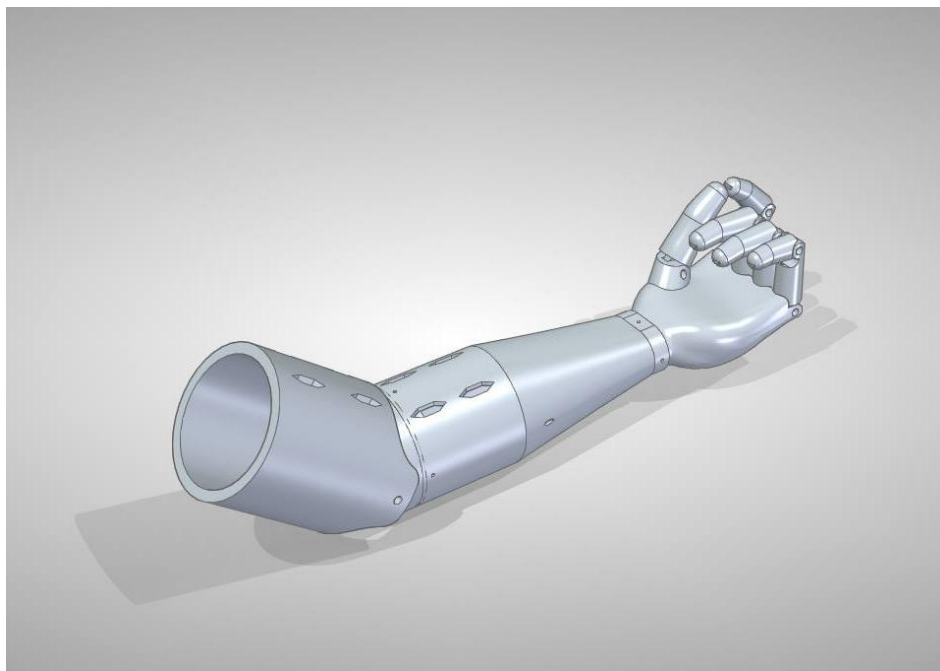
### **5.1 ZALETY PROTEZY STEROWANEJ RUCHEM W STAWIE ŁOKCIOWYM**

Proteza ta zapewni dziecku część funkcji, które powinna spełniać kończyna. Pozwoli na trzymanie przedmiotów oraz podnoszenie rzeczy o małej masie. Uspawni codzienne funkcjonowanie dziecka. Kontakt ciała z protezą jest ograniczony przez sposób mocowania urządzenia do ciała. Zmniejsza to ewentualne otarcia. Wykonanie większości elementów metodą druku 3D zmniejsza koszty produkcji ręki i przedramienia. Wymiana uszkodzonych elementów nie będzie problematyczna dzięki prostej budowie protezy. Wykorzystanie jak najmniejszej liczby elementów powoduje wzrost wytrzymałości protezy i zmniejsza ryzyko jej uszkodzenia. Proteza jest łatwa w użytkowaniu i nie powinna sprawiać problemu dziecku ani rodzicowi.

### **5.2 WADY PROTEZY STEROWANEJ RUCHEM W STAWIE ŁOKCIOWYM**

Wadami takiego rozwiązania są możliwe otarcia i odparzenia. Spowodowane są one kontaktem materiału mocującego protezę do ramienia. Dziecko wykonuje dużą ilość ruchów, poci się co sprawia, że materiał ociera o skórę. Naszym zadaniem jest dobrać taki materiał, by otarcia były zminimalizowane w jak największym stopniu. Kolejnym ograniczeniem jest to, że proteza nie ma możliwości poruszania pojedynczymi palcami. Możliwe jest tylko zgięcie wszystkich palców jednocześnie. Jest to spowodowane ograniczeniem kosztów takiej protezy. Zredukowanie ilości materiałów wiąże się także z mniejszą masą urządzenia. Niedoskonałością takiego rozwiązania jest nienaturalny ruch wynikający z konieczności zgięcia łokcia w celu zgięcia palców. Aby ograniczyć nienaturalność ruchu podczas użytkowania protezy wprowadziliśmy blokadę, która pozwala na trzymanie przedmiotu w dowolnej pozycji kończyny górnej. Ze względu na przymocowanie protezy za pomocą rzepów istnieje możliwość zsuwania się jej podczas podnoszenia większych ciężarów. Rzepy ograniczają powierzch-

nię styku z ciałem dziecka ale jednocześnie nie są w stanie zagwarantować możliwości utrzymania w protezie przedmiotów o większej masie.

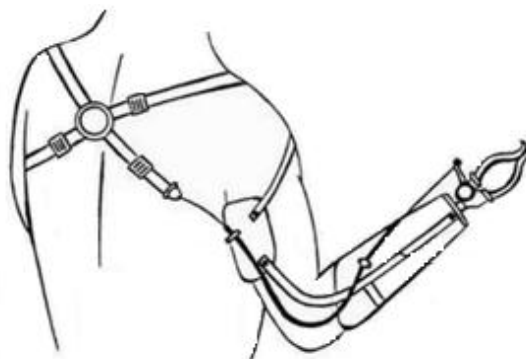


*Rys. 2. Model protezy sterowanej ruchem w stawie łokciowym*

## **6. PROTEZA STEROWANA ZA POMOCĄ RUCHU STAWU BARKOWEGO**

Jest to proteza mechaniczna sterowana siłą mięśni. Zakres ruchów w obrębie barków oraz stawu barkowo-ramiennego przenoszony jest dzięki linie sterującej, która jednym końcem przyczepiona jest do pętli szelkowej, drugim natomiast do protezowanej ręki. W obrębie stawu łokciowego linka nie zmienia swojego położenia względem stawu, gdyż znajduje się w osłonce. Linki biegną wzdłuż dolej części przedramienia. Proteza wykonana jest prawie w całości metodą druku 3D. Szelki zakładamy na barki dziecka, które poruszając nimi powodują zmianę napięcia. Napinanie linki powoduje zgięcie palców. Jej rozluźnienie przywraca palce do pierwotnej postaci. Funkcję odwodzenia palców pełnią sprężynki zamontowane w zawiasach palców. Budowa dłoni nie pozwala na prosty palców przy zbyt dużym napięciu gumek. Taki sposób zamocowania protezy do ciała pozwala na zwiększenie odległości, w której możemy chwycić

przedmiot. Ruch ten jest płynny co zwiększa jego naturalność. Podnosi to komfort użytkowania protezy. Szelki stabilnie mocują protezę do ciała dziecka. Nie zsuwa się ona podczas użytkowania, czy podnoszenia cięższych przedmiotów. Sposób użytkowania protezy nie sprawi problemu dziecku czy rodzicowi. Dziewczynka może kontrolować siłę ścisku poprzez odpowiedni naciąg linki zależny od ruchu barku. Urządzenie także posiada blokadę pozwalającą na pozostawienie dłoni w określonej pozycji, co zwiększa komfort użytkowania protezy.



*Rys. 3. Model obrazujący zasadę działania protezy sterowanej za pomocą ruchu stawu barkowego [7]*

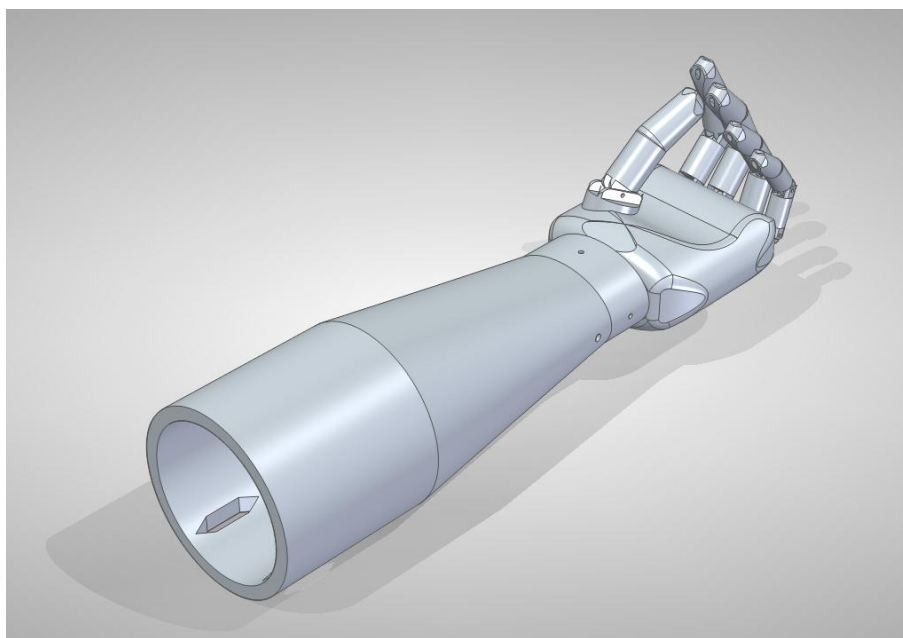
### **6.1 ZALETY PROTEZY STEROWANEJ ZA POMOCĄ RUCHU STAWU BARKOWEGO**

Istotną zaletą tego typu protezy jest przywrócenie podstawowej funkcji ręki. Dzięki sterowaniu barkowemu mamy większy zasięg ruchu. Możliwe jest chwycenie przedmiotu w większej odległości, niż pozwala na to proteza łokciowa. Dzięki blokadzie proteza posiada możliwość utrzymania zgiętych palców bez konieczności naciągania linki ruchem barku. Poprawi to wykonywanie wielu czynności w codziennym życiu. Naciąganie linek spowodowane ruchem barku wygląda naturalniej niż podczas zgięcia łokcia. Zmniejsza to dyskomfort dziecka podczas użytkowania urządzenia. Proteza daje możliwość podnoszenia cięższych przedmiotów bez zsuwania się jej z kończyny górnej. Ze względu na szelki, które nałożone są na barki, większe przedmioty podnoszone przez protezę nie powodują jej osuwania się. Jest ona stabilnie przytwierdzona do przedramienia. Zwiększa to zakres możliwości protezy i pozwala na wykonywanie większej gamy czynności za jej pomocą. Masa protezy poprzez swoje rozłożenie w mniejszym stopniu obciąża uszkodzoną kończynę dziewczynki. Proteza po-

siada blokadę pozwalającą zatrzymać dłoń w wybranej pozycji umożliwiając zwiększenie ilości czynności wykonywanych przez dziecko w codziennym funkcjonowaniu. Wykonanie protezy z malej ilości elementów zwiększa jej wytrzymałość.

## 6.2 WADY PROTEZY STEROWANEJ ZA POMOCĄ RUCHU STAWU BARKOWEGO

Proteza ta nie ma możliwości wykonania niezależnych ruchów każdym z palców. Umożliwia zgięcie wszystkich palców jednocześnie. Dziecko nie ma możliwości wykonania precyzyjnych ruchów. Szelki zwiększają ilość zużytego materiału do budowy protezy, a także jej ciężar. Wzrastają koszty wykonania i produkcji poszczególnych elementów protezy. Uszycie indywidualnych szelek dla dziecka powoduje brak powtarzalności wykonanego elementu i wiąże się z możliwością wystąpienia błędów przy pomiarach i wykonaniu. W razie uszkodzenia szelek odtworzenie identycznych będzie problematyczne. Dokonywanie pomiarów dziewczynki związane jest z koniecznością podróży, które mogą okazać się kosztowne. Większa powierzchnia styku ciała z elementami protezy może powodować otarcia i przyczynić się do niechęci w użytkowaniu urządzenia przez dziecko.



*Rys. 4. Model protezy sterowanej za pomocą ruchu stawu barkowego*

## 7. DRUK 3D

Drukowanie 3D staje się coraz bardziej powszechne. Jest to proces wytwarzania trójwymiarowych fizycznych obiektów powstałych w oparciu o model komputerowy. Każdy przedmiot, który powstał na drukarce 3D składa się z wielu warstw, które zostały ułożone jedna na drugiej. Niskobudżetowy druk 3D staje się coraz częściej wykorzystywany do produkcji protez. Projekty prawie całkowicie wykonane będą w technologii druku 3D. Filament w postaci linki o średnicy 3 mm to materiał, który jest wprowadzany do głowicy drukarki i tam podgrzewany do temperatury 180-200°C. Na zewnątrz kolejne warstwy ulegają utwardzeniu pod wpływem temperatury otoczenia. W projekcie wykorzystano PLA - polimer należący do grupy poliestrów alifatycznych. Jest on w pełni biodegradowalny. Otrzymuje się go z odnawialnych surowców naturalnych takich jak np.: mączka kukurydziana. Materiał ten ma gęstość  $1,24 \text{ g/cm}^3$ , a jego temperatura płynięcia wynosi 135°C. Elementy drukowane metodą druku 3D mają niską masę, a jednocześnie dużą wytrzymałość. Możemy dobrać grubość drukowanych warstw oraz prędkość druku w zależności od potrzeb. Sposób drukowania protezy wpływa na jej odporność na uszkodzenia. Małe elementy, które będą szczególnie narażone na uszkodzenia należy odtworzyć z jak największą dokładnością. Dlatego przykładano dużą uwagę do druku zawiasów protezy. Duży wpływ ma również kierunek druku. Elementy drukowane w pionie charakteryzują się mniejszą wytrzymałością niż te które zostały wydrukowane w poziomie. Wydruk w technologii 3D wiąże się także z niskim kosztem wykonania. Nie musimy wykonywać elementów alternatywnymi metodami np. wykorzystując obróbkę CNC lub jako formy wtryskowe. Przedramię i ręka drukowane są w całości, a potem łączone ze sobą za pomocą śrub. Niwelujemy koszty produkcji i udział osób trzecich. Największym problemem jest dopasowanie kształtu i wielkość poszczególnych elementów protezy, by była możliwość ich wydruku na drukarce 3D. Dostępne drukarki posiadają podstawę o wymiarach 220x220x200[mm]. Podczas projektowania musimy uwzględnić te wymiary tak, aby proteza była możliwa do wydruku w jednej części, co zwiększy jej wytrzymałość. Zaletą wykorzystania rozwiązania jakim jest wykonanie protezy za pomocą drukarki 3D jest połączenie lekkości z wytrzymałością.

## 8. PODSUMOWANIE

Głównym powodem dla którego powstał projekt jest chęć pomocy Natalce. To dla niej małym nakładem pieniędzy a tylko naszym zaangażowaniem chcieli-

śmy podjąć takie działania. Ze względu na to, że mamy do czynienia z dzieckiem niemożliwe jest zastosowanie bardziej zaawansowanych ale zarazem inwazyjnych protez. Kupno certyfikowanej protezy wiąże się z dużymi kosztami, a biorąc pod uwagę wiek dziewczynki jest to nieopłacalne ponieważ stale rośnie i zakupiona proteza po krótkim okresie czasu staje się bezużyteczna. W przyszłości planujemy wykonanie protezy elektronicznej. Prace rozwojowe trwają nad modelem z wykorzystaniem czujników. Wymaga to jednak wcześniejszej pracy nad mięśniami ręki aby zapobiec ich zanikowi. Podjęliśmy już działania nad stworzeniem urządzenia do pracy nad wybraną partią mięśni.

## LITERATURA

- [1] Budkiewicz A., *Protezy szkieletowe*, Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa 2004
- [2] *Proteza*, <https://pl.wikipedia.org/wiki/Proteza>, (dostęp: 06.06.2018)
- [3] *Protezy kończyn górnych*, <http://www.inzynieria-biomedyczna.com.pl/biomechanika/item/94-protezy-ko%C5%84czyn-g%C3%B3rnych.html>, (dostęp: 06.06.2018)
- [4] *Polilaktyd*, <https://pl.wikipedia.org/wiki/Polilaktyd>, (dostęp: 06.06.2018)
- [5] *Drukowanie 3D – wszystko co musisz wiedzieć*, <http://techtutor.pl/drukowanie-3d-wszystko-co-musisz-wiedziec/>, (dostęp: 06.06.2018)
- [6] Filipiak Ł., Skipirzeps D., Wróbel E., *Protezy kończyn górnych sterowane sygnałami mięśniowymi*, Politechnika Wrocławska
- [7] <https://upload.orthobullets.com/topic/9072/images/bodypowered2.jpg>, (dostęp: 06.06.2018)
- [8] *Protezy kończyn górnych sterowane sygnałami mięśniowymi*, <http://docplayer.pl/7761675-Protezy-konczyn-gornych-sterowane-sygnałami-miesniowymi.html>, (dostęp: 06.06.2018)

## **ELEKTRONIKA MEDYCZNA W ODZIEŻY**

### **1. WPROWADZENIE**

Elektronika medyczna w odzieży łączy w sobie komfort noszenia ubrań z użytecznością elektroniki. Materiały do produkcji takich urządzeń muszą charakteryzować się wysoką odpornością mechaniczną na ścieranie, rozciąganie, skręcanie, ale również odpornością na pranie. Wielką zaletą takich rozwiązań jest brak możliwości splątania lub zerwania kabli przez przedmioty zewnętrzne, zważywszy na umieszczenie komponentów elektronicznych wewnątrz tkaniny. Dzięki smart tekstyliom ludzie mogą z większym komfortem osobistym używać wszelkiego rodzaju elektroniki, co jest bardzo pomocne przy prowadzeniu jakichkolwiek badań medycznych. Elektronika noszona może pomóc zapewnić psychiczny spokój pacjenta lub nawet przenieść takie badanie do jego środowiska domowego. Urządzenia takie powinny być w stanie rozpoznać aktywność użytkownika i sytuację w jakiej się znajduje i dopasować swoje działanie do okoliczności.

Łączenie się tkanin z elektroniką może być kluczowe dla rozwoju smart materiałów mających możliwość pełnienia funkcji z szerokiego zakresu. Tekstylia te będą służyć podniesieniu dobrobytu społecznego i oszczędnościom budżetowym. Możemy je podzielić na trzy rodzaje:

- pasywne smart tekstylia,
- aktywne smart tekstylia,
- super smart tekstylia.

Pierwszy rodzaj korzysta jedynie z czujników w celu odbioru sygnałów od użytkownika i ze środowiska. Kolejny typ łączy w sobie działanie siłowników i czujników, co pozwala na reaktywne wyczuwanie bodźców z otoczenia. Ostatnia grupa ma możliwość adaptowania się na podstawie bodźców do aktualnych okoliczności.

Sensory pozwalają na odbiór sygnałów. Siłowniki reagują na wykryty bodziec samodzielnie lub na podstawie komendy jednostki sterującej. Czujniki

---

<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, Koło Naukowe Elektroników „MICROCHIP”



tkaninowe mogą być wykorzystywane w badaniach takich jak: EKG, EMG czy EEG, jeśli zawierają termoelementy mogą odczytywać temperaturę. Elektrody węglowe umieszczone wewnątrz tkaniny mogą badać potrzebne dane biomedyczne - tlen, zasolenie, wilgoć czy zanieczyszczenia.

Problemem smart tekstyliów jest zapewnienie źródła zasilania. Jego rozwiązaniem jest budowa generatorów z materiałów piezoelektrycznych, które zbierają energię z elementów fotowoltaicznych lub ruchu użytkownika, np. podczas chodzenia [1].

## **2. MATERIAŁY**

W elektronice noszonej najbardziej pożądane są struktury oparte na włóknach. Powinny one być lekkie i elastyczne. Rozwój nanotechnologii pozwala na umieszczanie komponentów elektronicznych na powierzchni lub wewnątrz pojedynczych włókien. Jednakże, zapewnienie tym urządzeniom odpowiednich funkcji korzystając z porowatych, wysoce odkształcalnych, trójwymiarowych włókien oraz ich odpowiednia wytrzymałość podczas eksploatacji są ogromnym wyzwaniem z punktu widzenia rozwiązań technicznych.

Łączenie komponentów elektronicznych i ich funkcjonalności materiałem pozwala na pozyskanie cech takich jak odporność na rozciąganie, gniecie czy płatanie. Wysoka porowatość tkanin pozwala na ucieczkę pary i gorącego powietrza, a wraz z dużą powierzchnią zapewnia dużą ilość powietrza jako izolatora przy niskich temperaturach oraz zapewnia przepuszczalność gazów, co jest ważne w odzieży noszonej na co dzień.

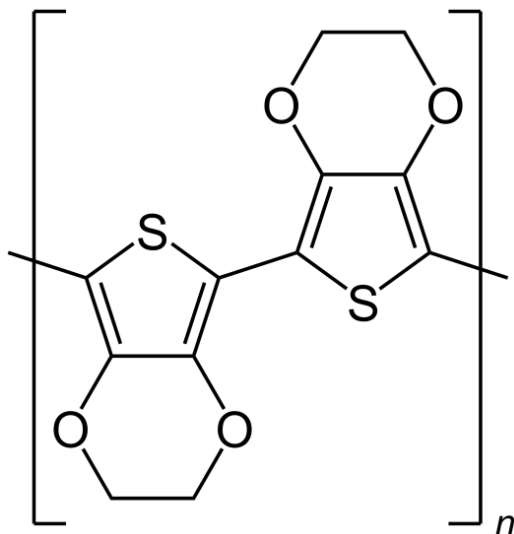
Materiały wykorzystywane do budowy odpowiednich komponentów elektronicznych powinny charakteryzować się dużą mobilnością ładunków oraz wysoką ogólną wydajnością elektryczną, a także pożądanymi właściwościami mechanicznymi oraz stabilnością środowiskową. Często wykorzystywanymi materiałami są polimery przewodzące, materiały na bazie węgla oraz metaliczne nanocząstki i nanodruki.

### **2.1. POLIMERY PRZEWODZĄCE**

Odkrycie możliwości przewodzenia polimerów pozwoliło na wykorzystanie ich w produkcji elektroniki. Wewnętrzna elastyczność i możliwość umieszczenia wewnątrz włókien sprawia, że jest to jeden z najbardziej obiecujących materiałów do wykorzystania w budowie komponentów do elektroniki noszonej. Poli-

mery złożone są z prostych bloków co pozwala na nadanie im pożądanych właściwości.

Najbardziej skutecznym polimerem przewodzącym jest poli (3,4 – etylenodioksytiofen) (PEDOT) dzięki wysokiej przewodności i możliwościom przetwarzania. Jest wykorzystywany do elektrod używanych w kondensatorach i fotodiodach.



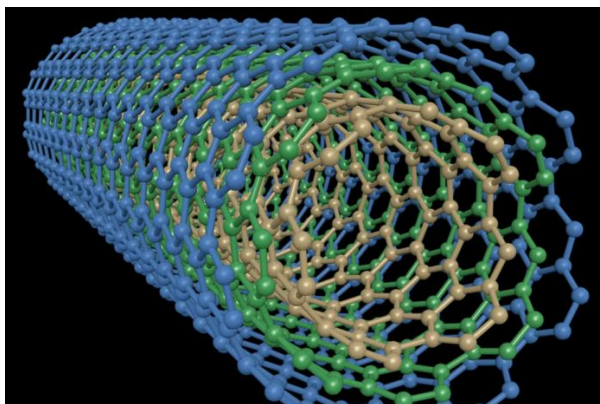
Rys. 1. Poli (3,4 - etylenodioksytiofen) [2]

## 2.2. MATERIAŁY NA BAZIE WĘGLA

W elektronice noszonej używane są ze względu na wysoką wewnętrzną mobilność nośnika, przewodnictwo elektryczne, nadzwyczajne właściwości mechaniczne i stabilność środowiskową. Mogą być one używane jako materiały przewodów w tranzystorach oraz transparentne elektrody. Produkcja tych materiałów wiąże się z dosyć małym kosztem. Najczęściej wykorzystywanymi są grafen i nanorurki węglowe. Elektrody oparte na tych materiałach są używane w wysokowydajnej elektronice. Pokrywanie nici bawełnianych polielektrolitem z nanorurkami węglowymi pozwala na przekształcenie ich w inteligentną przędzę elektroniczną używaną do produkcji smart tekstyliów.

W przypadku nanorurek węglowych warto rozważyć zarówno korzystanie z pojedynczych rurek jak i ich sieci. Zastosowanie pojedynczych rurek jest ograniczone trudnością kontroli ich struktury. Rozwiązaniem jest składanie nanorurek we włókna, zachowując właściwości mechaniczne i elektryczne poje-

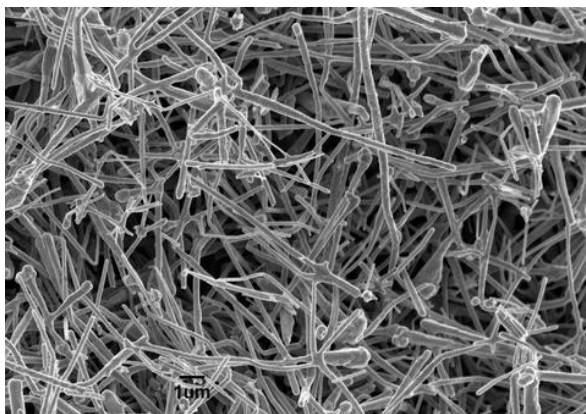
dynczych obiektów. Nanorurki węglowe można stosować w czujnikach, przewodach transmisyjnych, mikroelektrodach, ogniwach słonecznych oraz magazynach energii – kondensatorach.



*Rys. 2. Nanorurka węglowa (CNT) [3]*

### **2.3. METALICZNE NANOCZĄSTKI I NANODRUTY**

Materiały te są szczególnie pożądane w elektronice noszonej ze względu na wysoką przewodność elektryczną, jednakże problemem z nimi związanym jest niestabilność i szorstkość. Trwają badania nad zwiększeniem ich stabilności i wykorzystaniem w elektronice noszonej. Przykładem wykorzystania takiego materiału jest włóknowy piezoelektryczny nanogenerator z wysoce rozciągalnej poliamidowej tkaniny pokrytej srebrem. Urządzenie ma wysoką wytrzymałość. Podczas jednego cyklu pracy może wytworzyć dużą moc [4].



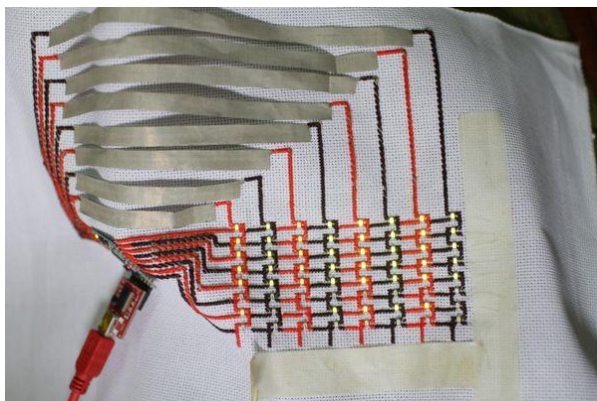
*Rys. 3. Nanodruty [5]*

### 3. PROCESY PRODUKCYJNE

Metody produkcji smart tekstyliów determinują ich właściwości, koszt, a nawet stabilność. Procesy produkcji elektroniki noszonej możemy podzielić na dwie kategorie. Pierwsza z nich wykorzystuje przewodzące włókna zrobione z węgla, materiałów piezoelektrycznych, przewodzących polimerów lub włókien konwencjonalnych modyfikowanych powierzchniowo różnymi metalami. Grupy badawcze skupiły się na przewodzących przędzach i niciach, czego skutkiem było umożliwienie włączenia elektroniki w materiał do wytwarzania ubrań. Metody oparte na włóknach dały doskonałe właściwości, takie jak komfort noszenia i wytrzymałość na deformację mechaniczną (zginanie, skręcanie i rozciąganie).

Druga kategoria jest oparta na miniaturowych komponentach elektrycznych lub elektronice na bazie cienkiej folii osadzonej na powierzchni standardowych materiałów dielektrycznych lub naśladujących funkcje elektroniczne poprzez pokrycie lub nadruk. Ze względu na sztywność komponentów komfort noszenia oraz elastyczność materiału może być obniżona. Pomimo istotnych ulepszeń urządzeń, wiele e-tekstyliów nie może się w pełni dostosować do otoczenia, ze względu na niezdolność metali i przewodzących polimerów do znacznego wydłużenia. Bardziej pożądane jest włączenie funkcji elektronicznych na poziomie włókien co zapewnia odpowiednią wytrzymałość materiału.

Elastyczne przewodniki mogą zostać wszyte lub wplecione w konwencjonalne przędze, aby stworzyć tkaninę z funkcjami elektronicznymi i odpowiedni obwód elektryczny. Włókno przewodzące jest wplatane z kierunkiem wątku tkaniny. To stwarza siatkę dla wielu komponentów: czujników, tranzystorów i obwodów elektrycznych [4].



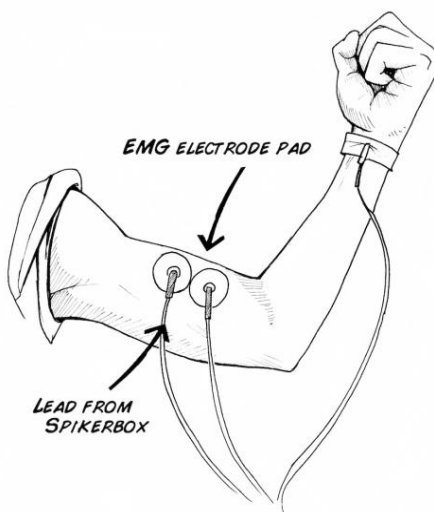
Rys. 4. Haftowany obwód elektryczny [6]

#### 4. SENSORY

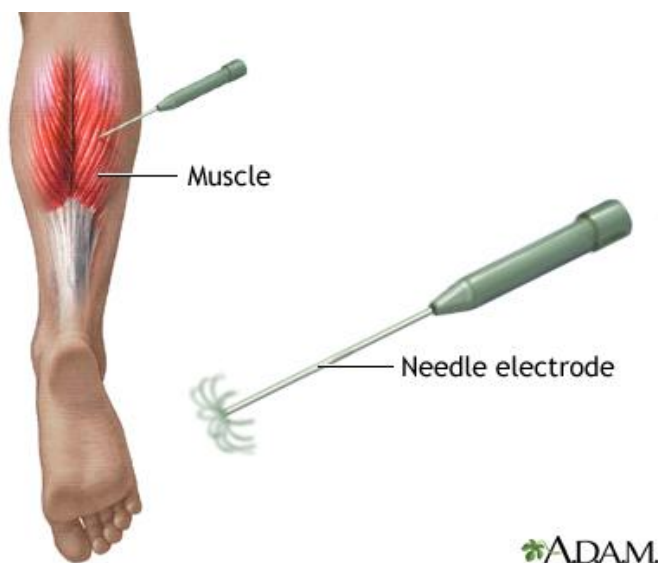
Sensory noszone są bardzo dobrym rozwiązaniem do monitorowania parametrów zdrowotnych, ponieważ podnoszą komfort psychiczny pacjenta podczas przeprowadzania badania, może w tym czasie znajdować się w znanym przez niego otoczeniu, a nie tak jak dotychczas w szpitalu. Technologia dąży do integracji czujników i elektroniki z tkaniną w sposób pozwalający zachować zalety ubrania, takie jak komfort noszenia czy odporność na pranie (czyszczenie). Standardowy sposób to wykorzystanie względnie prostej techniki pomiarowej, która po przetwarzaniu sygnału i wieloczynnikowej analizie pozwala na odczyt pożądanego parametru fizjologicznego.

#### 5. EMG

Elektromiografia jest badaniem potencjałów czynnościowych mięśni. Komórki ciała otoczone są błoną półprzepuszczalną. Impuls o napięciu progowym lub większym powoduje depolaryzację tej błony i rozprzestrzenienia się fali. Następują wtedy krótko po sobie skracanie i relaksacja mięśnia, zwane skurczem. Potencjał ten prowadzony jest na powierzchnię skóry poprzez przewodzenie objętościowe, jednakże, ze względu na sposób rozchodzenia się impulsu, jest on losową sumą wielu potencjałów czynnościowych pojedynczych włókien. Aby zbadać działanie grupy mięśni wykonać można EMG powierzchniowe, a w celu zbadania jednego mięśnia – igłowe.



Rys. 5. EMG powierzchniowe [7]



Rys. 6. EMG igłowe [8]

Elektromiografia igłowa jest metodą stosunkowo dokładną, jednakże inwazyjną. Badanie powierzchniowe związane jest z pewną niedokładnością wynikającą z: nakładających się na sygnał potencjałów sąsiednich mięśni, przesuwania się elektrod względem mięśnia podczas zbierania sygnału, szumów zewnętrznych, oraz nieznanego potencjału układu skóra-elektroda.

Sposobem uniknięcia niedokładności jest stosowanie elektrod bezkontaktowych badających przemieszczeniowy prąd elektryczny poprzez sprzężenie pojemnościowe. Eliminuje to również takie problemy jak niewygodna przyklejania elektrod czy podrażnienia skóry wywołane żelem przewodzącym.

### 5.1. HAFTOWANY CZUJNIK EMG - CONTEXT

Aby zachować strukturę tkaniny i zwiększyć niezawodność urządzenia, umieszczane na materiale komponenty elektroniczne powinny być miniaturyzowane, jednakże zmniejszenie rozmiarów jest drogie, a czyste matryce są ciężko dostępne.

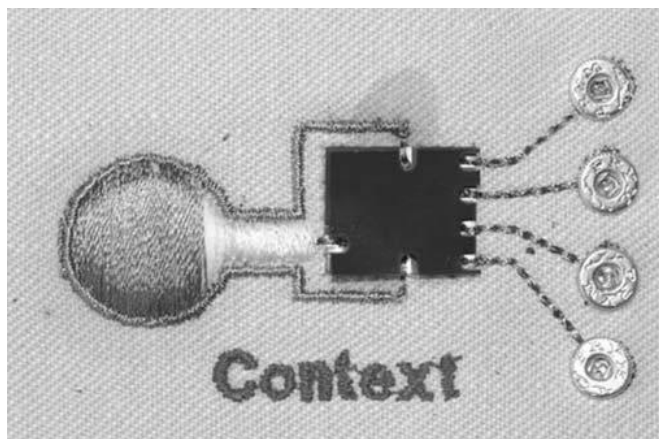
Podłożem czujnika jest folia poliamidowa metalizowana warstwą miedzi, niklu oraz złota i pokryta maską odporną na lutowanie. Na masce umieszczane są odpowiednie komponenty. Podłoże, oprócz bazy dla elektroniki, pełni również rolę uziemienia. Jako że moduły muszą zostać założone przed haftowaniem, posiadają one otwory, przez które przebiegać się będzie igła.



*Rys. 7. Podłoże wraz z naniesionymi komponentami [9]*

Aby umożliwić hartowanie modułów wymagana jest budowa warstwowa – warstwy przewodzące i izolujące – oraz specjalna przędza, która nie płącze się podczas produkcji i jest wyjątkowo wytrzymała. Czujnik ma być wyhaftowany na kamizelce co umożliwiłoby ciągły pomiar przez długi czas bez ograniczeń badania konwencjonalnego – możliwość wykonywania codziennych czynności.

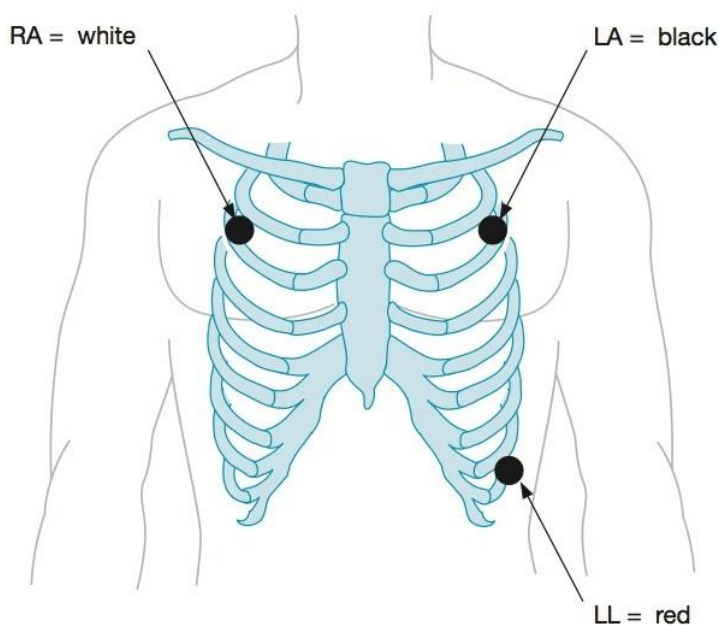
Pomiary wykonane takim czujnikiem charakteryzują się podobnym poziomem i kształtem sygnałów oraz szerokością pasma jak w przypadku standardowej procedury. Szумы podczas odpoczynku mięśnia są wyższe przy bezkontaktowym EMG [9].



*Rys. 8. Wyhaftowany czujnik wraz z połączeniami i elektrodami [9]*

## 6. EKG

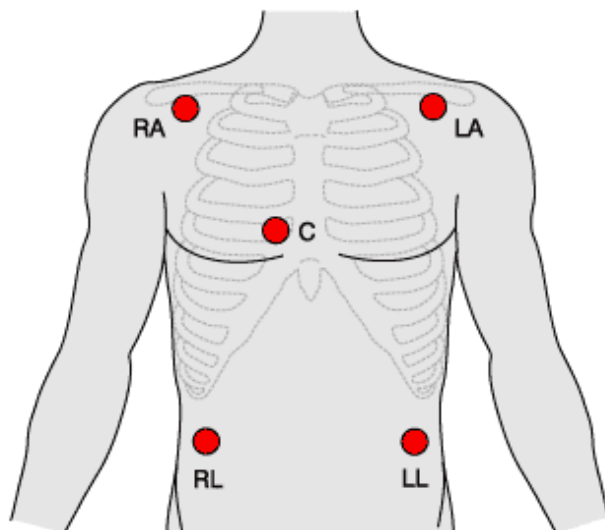
Elektrokardiografia jest to badanie czynności elektrycznej serca. Elektrokardiograf zbiera potencjały czynnościowe serca elektrodami przymocowanymi do powierzchni skóry, wyróżniamy kilka rodzajów elektrod (np. przyssawkową, żelową, kończynową). Istnieje kilka możliwości przymocowania elektrod, wyróżniamy m. in. trój-, pięcio- i dziesięcioelektrodowy. Sposób umiejscowienia elektrod w przypadku kardiografu trójelektrodowego opiera się na trójkącie Einthovena, zakładającego zbieranie potencjału z odprowadzeń kończynowych tworzących trójkąt równoboczny (elektrody znajdują się przy obu kończynach górnych oraz przy lewej kończynie dolnej), w którego środku umiejscowione jest serce.



Rys. 9. Położenie elektrod w trójelektrodowym EKG [12]

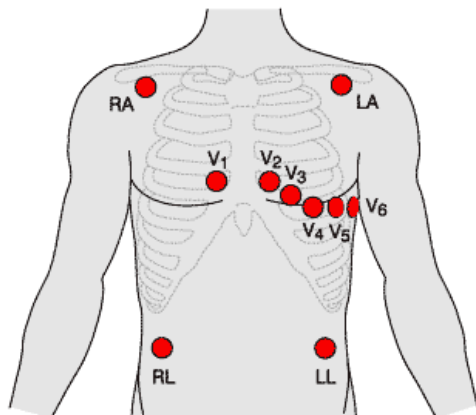
Sposób umiejscowienia elektrod przy elektrografie pięcioelektrodowym jest podobny do trójelektrodowego. W tym przypadku dochodzą dodatkowe dwie elektrody, z których jedna umocowana jest przy ostatniej z kończyn i kolejna umiejscowiona jest przy sercu.





*Rys. 10. Położenie elektrod w pięcioelektrodowym EKG [11]*

Zastosowanie większej ilości elektrod odprowadzeniowych zwiększa dokładność pomiaru. Jednakże mamy całkiem inny przypadek ustawienia przy elektrokardiografii dwunastoodprowadzeniowej, ponieważ w tym przypadku mamy do czynienia z dziesięcioma elektrodami. Cztery z nich umieszcza się na kończynach a pozostałe sześć mocuje się na klatce piersiowej w okolicach serca. Jest to najbardziej efektywna metoda badania potencjałów czynnościowych serca. W wyniku badania otrzymujemy zapis elektryczny pracy mięśnia serca zwany elektrokardiogramem. Badanie EKG posiada wiele zalet m. in. jest badaniem krótkim, dającym dużo informacji dla kardiologa. Równie ważna jest także nieinwazyjność metody. Uzyskanie wyniku badania wiąże się też z małym kosztem, sprawia to że badanie jest ogólnodostępne i często przeprowadzane. Jedną z nielicznych wad jest problem z umocowaniem elektrod, np. kończynowych nie użyjemy do osoby bez kończyn, przyssawkowe nie trzymają się skóry, a żelowe często stosowane w przypadku dzieci i niemowląt mogą podrażniać skórę oraz wywoływać reakcję alergiczną. Rozwiązaniem tych problemów może być zastosowanie e-tekstyliów.



Rys. 11. Położenie elektrod w dwunastoodprowadzeniowym EKG [10]

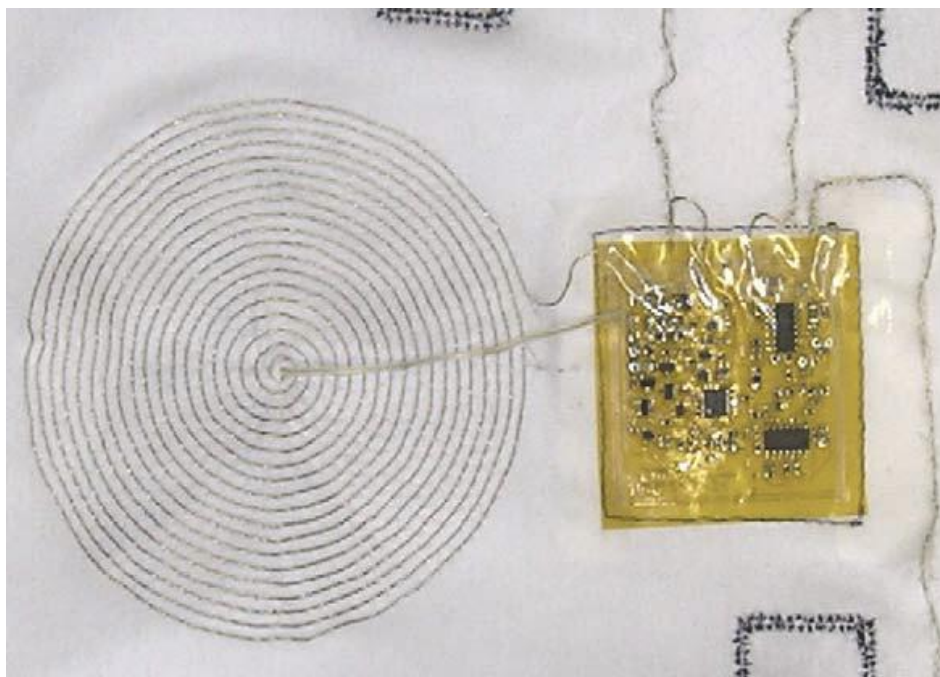
### 6.1. EKG W UBRANIACH

Zastosowanie smart tekstyliów do produkcji urządzeń EKG pozwala na eliminację problemów związanych z użytkowaniem elektrod. Sposobem wytwarzania tego urządzenia jest nadrukowywanie na elastycznym materiale elektroniki do interfejsu, przetwarzania i transmisji danych oraz wyhaftowywanie cewki. Jednym z pierwszych prototypów takiego rozwiązania był rozciągliwy pas, który można było nosić pod każdym ubraniem, z umieszczonymi na nim elektrodami pomiarowymi. W przypadku tego elastycznego pasa elektronikę służącą do zbierania informacji, można było łatwo usunąć z powierzchni materiału, gdy ten musiał być wyprany. Projekt ten niwelował problemy z plątaniem się kabli oraz umocowaniem elektrod [13].



Rys. 12. Elastyczny pas z elektrodami materiałowymi [13]

Drugim prototypem zastosowania EKG w ubraniach było umieszczenie jego komponentów na ubranku dziecięcym. Na elastycznym materiale została wyhaftowana cewka, która ze względu na technikę krawiecką musiała mieć zmniejszoną ilość zwojów. Końce przewodów cewki zostały przylutowane wprost do obwodu giętkiego. Połączenie między obwodem pomiarowym a elektrodami zostało wyhaftowane. Tak skonstruowane urządzenie zapewniało dobre przyleganie elektrod do skóry dziecka i zmniejszało skutki nadmiernego ruchu dziecka podczas badania. Zapewniało to przede wszystkim komfort dziecka podczas badania.



*Rys. 13. Komponenty elektryczne umieszczone na dziecięcym kombinezonie [13]*

Projekt ubranka dziecięcego z umieszczonym na nim EKG jest kierowany do niemowląt z ryzykiem wystąpienia zespołu nagłej śmierci łóżeczkowej. Choroba ta wiąże się z nagłą śmiercią dziecka poniżej pierwszego roku życia we śnie. Przyczyny tego zjawiska są nadal nieznane przez lekarzy specjalistów. Ciągły monitoring pracy serca u dzieci w grupie ryzyka pozwala zapobiec tragedii. Długotrwałym efektem korzystania z tego rozwiązania może stać się odkrycie przyczyny choroby.



Rys. 14. Dziecięcy kombinezon z umieszczonym na nim aparatem do pomiaru EKG [13]

## LITERATURA

- [1] Stoppa M., Chiolerio A., *Wearable Electronics and Smart Textiles: A Critical Review*, "Sensors", 2014, 14, p. 11957–11992; doi:10.3390/s140711957
- [2] By Shaddack – Own work, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=448109> (dostęp: 11.06.2018)
- [3] *Carbon nanotubes for durable smart textiles*, <https://www.tevoneews.com/research-news/987-carbon-nanotubes-for-durable-smart-textiles> (dostęp: 11.06.2018)
- [4] Zeng W., Shu L., Li Q., Chen S., Wang F., Tao XM., *Fiber-Based Wearable Electronics: A Review of Materials, Fabrication, Devices, and Applications*, "Advanced Materials", 2014
- [5] [https://cdn.shopify.com/s/files/1/1069/6008/products/NovaWireCu04SEM\\_large.jpg?v=1493064610](https://cdn.shopify.com/s/files/1/1069/6008/products/NovaWireCu04SEM_large.jpg?v=1493064610) (dostęp: 11.06.2018)
- [6] *Embroidered circuitry: wei chieh shih*, <https://materialtales.wordpress.com/2013/12/27/embroidered-circuitry-wei-chieh-shih/> (dostęp: 11.06.2018)
- [7] *Biomedical [Basics] what is EMG?*, <http://all4medical.blogspot.com/2014/04/biomedical-basics-what-is-emg.html> (dostęp: 11.06.2018)
- [8] *Electromyography*, [http://printer-friendly.adam.com/content.aspx?productId=117&pid=1&gid=003929&c\\_custid=815](http://printer-friendly.adam.com/content.aspx?productId=117&pid=1&gid=003929&c_custid=815) (dostęp: 11.06.2018)
- [9] Linz T., Gourmelon L., Langereis G., *Contactless EMG sensors embroidered onto textile*, 4th International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN 2007), IFMBE Proceedings, vol 13. Springer, Berlin, 2007, p.29–34

- [10] *Elektrokardiografia: podstawy i interpretacja*, <http://docplayer.pl/11199942-Elektrokardiografia-podstawy-i-interpretacja.html> (dostęp: 11.06.2018)
- [11] *Monitorowanie elektrokardiograficzne w warunkach szpitalnych Stanowisko American Heart Association*, <http://www.mp.pl/artykuly/26720,monitorowanie-elektrokardiograficzne-w-warunkach-szpitalnychstanowisko-american-heart-association,1> (dostęp: 11.06.2018)
- [12] *ECG Lead positioning*, <https://lifeinthefastlane.com/ecg-library/basics/lead-positioning/> (dostęp: 11.06.2018)
- [13] Coosemans J., Hermans B., Puers R., *Integrating wireless ECG monitoring in textiles*, "Sensors and Actuators A", 2005, 130–131 (2006), p. 48–53

## **AUTOMATYCZNY POJEMNIK NA LEKI STEROWANY MIKROKONTROLEREM**

### **1. WPROWADZENIE**

Od wielu lat, zarówno w Polsce, jak i na świecie, obserwuje się zjawisko starzenia się społeczeństw. Wzrasta liczba starszych osób, a więc też osób chorujących przewlekłe i zmuszonych do systematycznego przyjmowania dużych ilości różnych leków. Coraz więcej też jest osób młodszych chorujących przewlekłe, na przykład na cukrzycę, czy nadciśnienie tętnicze [3], [4]. Proces ich leczenia można przyspieszyć używając urządzeń, które czynią powrót do zdrowia szybszym i łatwiejszym. Jednym z takich urządzeń jest automatyczny pojemnik na leki.

Bardzo ważne dla procesu leczenia jest zażywanie lekarstw na czas, zgodnie z zaleceniami lekarza. Dlatego też wielu ludzi stosuje różnego typu pudełka i pojemniki z oznaczonymi porami dnia, czy też godzinami, aby pomóc efektywniej zarządzać dawkowaniem leków. Wiele osób starszych, czy mających problemy z pamięcią, zapomina zażyć leki na czas lub nie pamięta, czy w ogóle je wzięło. Pacjenci nie przestrzegający prawidłowego dawkowania, czyli przyjmowania odpowiednich dawek o wyznaczonej porze, narażają się na pogorszenie stanu ich zdrowia [1], [2]. Automatyczne pojemniki na leki pomagają temu zapobiegać. Można je zaprogramować na określoną porę dnia, a alarm powiadamia chorego o konieczności zażycia danej dawki lekarstw. Do dużego spopularyzowania tych urządzeń przyczyniła się teraz mocno powszechna i coraz tańsza elektronika.

Automatyczne pojemniki na leki znajdują zastosowanie przy chorobach takich jak choroby neurodegeneracyjne (choroba Parkinsona, choroba Alzheimera), cukrzyca, nadciśnienie tętnicze i inne. Zazwyczaj jest to w przypadku pacjentów w starszym wieku zażywających duże ilości leków przy chorobach przewlekłych, którzy mają problemy z pamiętaniem o konieczności zażycia lekarstw lub po prostu nie radzą już sobie z samodzielnym dozowaniem przepi-

---

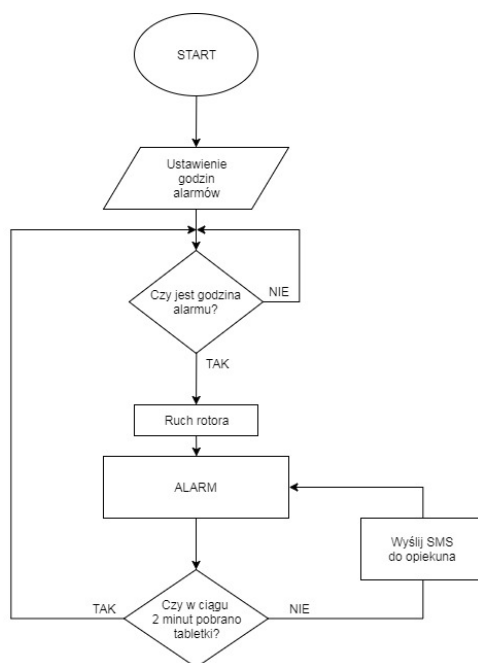
<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, Koło Naukowe „SEMICON”

sanych leków. Inną grupą osób są rodzice małych dzieci przewlekłe chorych. W momencie, gdy dzieckiem zajmuje się opiekunka rodzice sami mogą ustalić jakie leki dziecko ma przyjąć o określonej porze, bez martwienia się czy, niania nie pomyli dawek leków. Automatyczne pojemniki na leki stosują też osoby w każdym wieku przyjmujące duże ilości lekarstw, które nie muszą pamiętać o codziennym kilkukrotnym dozowaniu leków. Wtedy bez ciągłego sprawdzania godziny, mogą po prostu czekać na alarm z pojemnika. Pojemniki na leki powszechnie stosowane są też w szpitalach oraz domach spokojnej starości.

## 2. PROJEKT I WYKONANIE AUTOMATYCZNEGO POJEMNIKA NA LEKI

Celem projektu było wykonanie w pełni działającego automatycznego pojemnika na leki. Model urządzenia został najpierw zaprojektowany wirtualnie, następnie powstał układ elektroniczny wraz z odpowiednim oprogramowaniem. Części pojemnika wytworzone zostały w rzeczywistości na drukarce addytywnej. Urządzenie zostało praktycznie zmontowane i przetestowane.

### 2.1. ZASADA DZIAŁANIA AUTOMATYCZNEGO POJEMNIKA NA LEKI

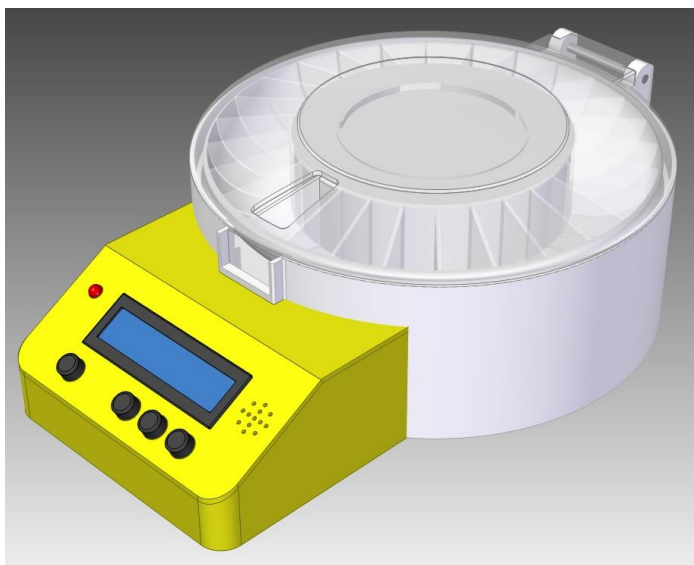


Rys. 1. Schemat blokowy algorytmu działania automatycznego pojemnika na leki

Automatyczny pojemnik na leki za pomocą przycisków można zaprogramować ustawiając 4 alarmy dziennie na 7 dni. Przy każdym z nich część ruchoma pojemnika wykonuje obrót tak, aby przegroda z lekami znalazła się pod otworem w pokrywie umożliwiającym wysypanie leków. Alarm sygnalizowany jest dźwiękiem z buzzera i miganiem diody a wyłączany jest przyciskiem OFF. Pojemnik wyposażony jest też w moduł GSM, który w razie niewyłączenia alarmu po upływie 2 minut od jego rozpoczęcia, powiadamia opiekuna osoby mającej pobrać tabletki o nie zażyciu przez jego podopiecznego danej dawki leku.

### **2.2. PROJEKT I BUDOWA POJEMNIKA NA LEKI**

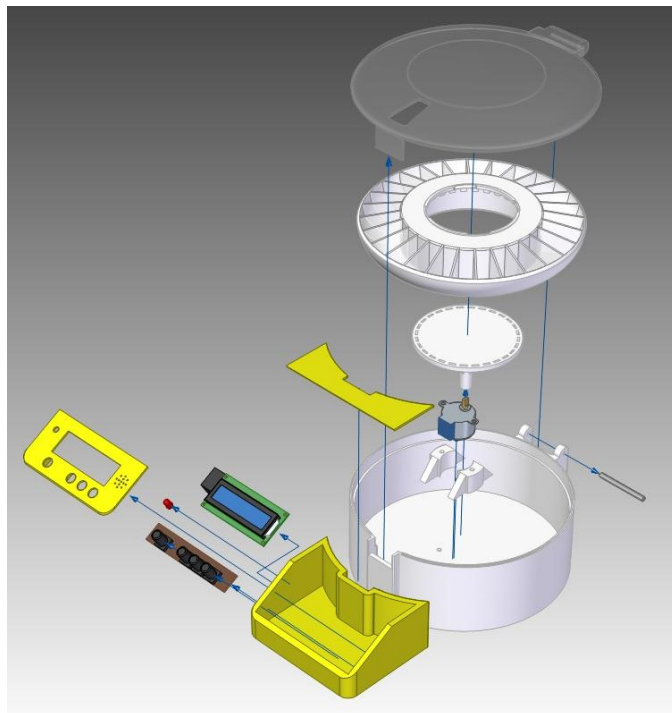
Prezentowane elementy do zbudowania automatycznego pojemnika na leki zostały zaprojektowane w programie Solid Edge ST9. Jest to program do komputerowego wspomagania projektowania. Pozwala na rysowanie modeli przestrzennych pojedynczych części, składanie ich w zespoły oraz tworzenie dokumentacji technicznej [5], [7].



*Rys. 2. Złożenie automatycznego pojemnika na leki w programie Solid Edge ST9*

Na rysunkach 2 oraz 3 przedstawione zostało złożenie całego urządzenia w programie oraz model 3D pojemnika w widoku rozstrzelonym, gdzie widoczne są poszczególne elementy składowe.





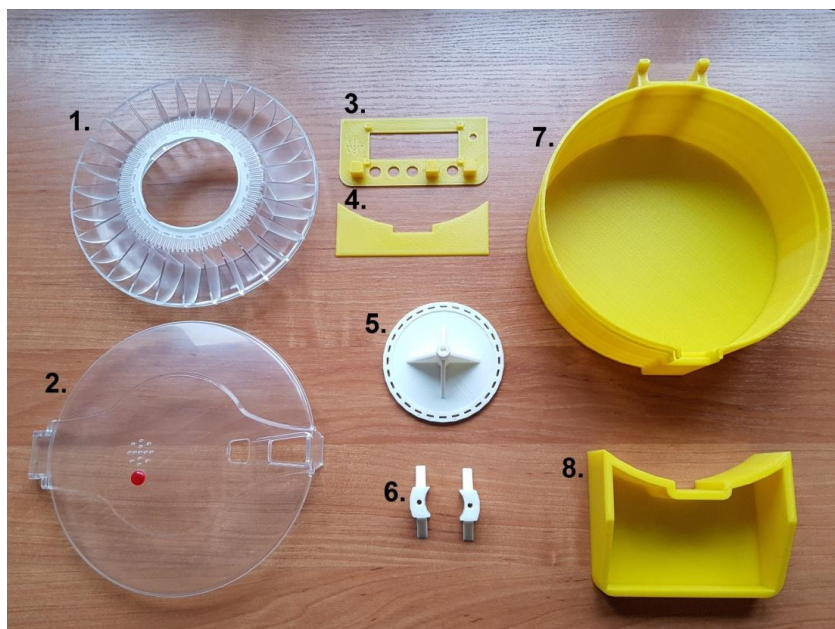
Rys. 3. Model 3D automatycznego pojemnika na leki – widok rozstrzelony

### 2.3. WYKONANIE POJEMNIKA NA LEKI

Potrzebne do budowy automatycznego pojemnika na leki elementy wydrukowano na drukarce Leapfrog Creatr Dual Extruder z politereftalanu etylenu potocznie zwanego PET-em oraz poliaktydu zwanego PLA w technologii FDM. W metodzie tej model powstaje warstwa po warstwie. Filament w formie żyłki o grubości 1,75 mm wprowadzany jest do dyszy głowicy, gdzie nagrzewany jest do temperatury topnienia i w formie płynnej wytłaczany na zewnątrz tworząc kształt zaprojektowanego elementu.

W projekcie zastosowano elementy wydrukowane z dwóch materiałów. Pierwszy z nich – poliaktyd – jest to polimer otrzymywany z mączki kukurydzianej, dzięki czemu jest całkowicie biodegradowalny. Jego właściwości są zbliżone do ABS, jednak PLA jest sztywniejszy i bardziej kruchy. Poliaktyd ma też niższą temperaturę topnienia wynoszącą 135°C, przyjemny zapach podczas topnienia oraz nie wydziela styrenu, dzięki czemu jest mniej szkodliwy dla zdrowia osób drukujących z tego materiału niż ABS. Drugim materiałem jest

politereftalan etylenu. PET jest jednym z najpopularniejszych termoplastików. Najczęściej stosuje się go do produkcji naczyń, butelek oraz opakowań. Elementy wydrukowane z PET charakteryzują się dużą twardością. Materiał jest sztywny i lekki a przez to bardzo wytrzymały. Druk z politereftalanu etylenu wymaga nagrzania głowicy do dużo wyższej niż PLA temperatury a mianowicie 200 – 220°C [6], [10].



Rys. 4. Części obudowy, z których składa się automatyczny pojemnik na leki

W projekcie zastosowano również 2 elementy z pojemnika dostępnego na rynku (te które mają kontakt z lekami), na rysunku 4 oznaczone liczbami 1 oraz 2. Zdecydowano się na użycie gotowych elementów, żeby mieć pewność, że materiał, z którego są wykonane jest bezpieczny i nie wchodzi w żadne reakcje z tabletkami. Pozostałe części widoczne na rysunku 4 zostały wydrukowane odpowiednio elementy nr 3, 4, 7 i 8 z politereftalanu etylenu (kolor żółty), a nr 5 i 6 z poliaktydu (kolor biały). Na powyższym rysunku wyróżniono poszczególne elementy, które pełnią następujące role:

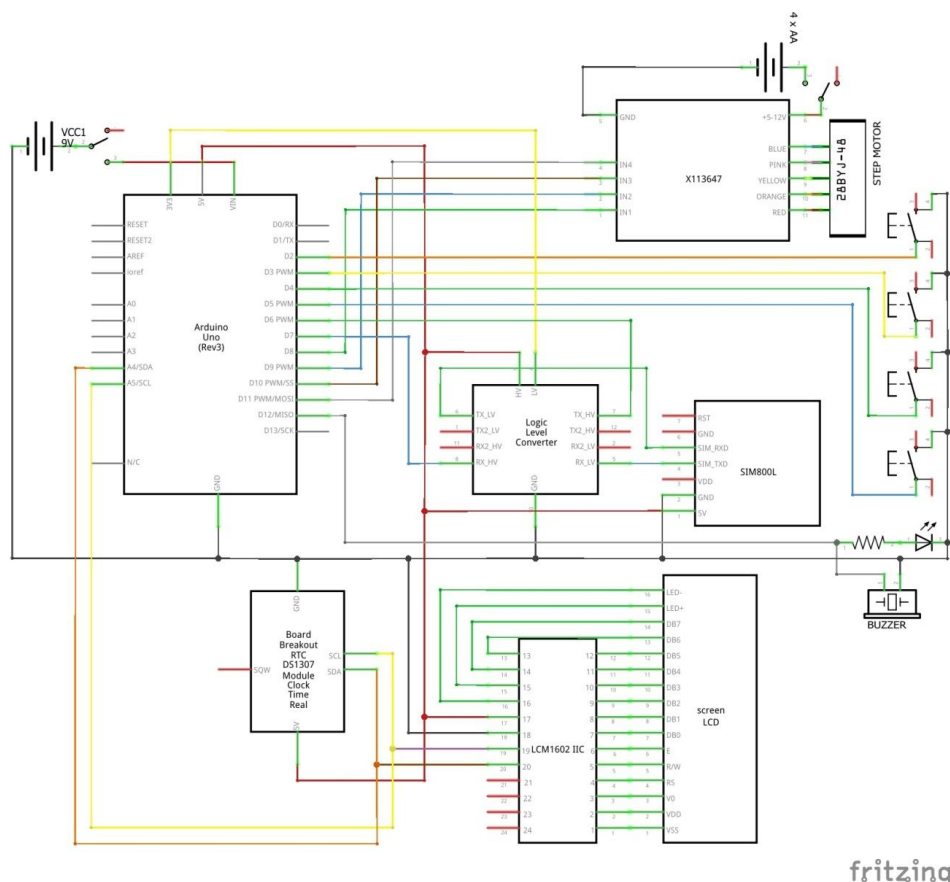
1. rotor – ruchoma część z przegrodami, w których znajdować się będą leki,
2. pokrywa,
3. przednia ściana panelu sterowania, w którym zamocowany będzie wyświetlacz, przyciski, buzzer i dioda powiadamiająca o alarmie,

4. górna ściana panelu sterowania,
  5. rdzeń nad silnikiem, za pomocą którego, część z przegrodami będzie wykonywała ruch obrotowy,
  6. mocowania, pomiędzy którymi umieszczony będzie silnik krokowy,
  7. podstawa, w której ukryte będą: Arduino Uno, moduł RTC, moduł GSM z anteną oraz silnik ze sterownikiem,
  8. podstawa panelu sterowania.
- Na rysunku 5 przedstawiono wstępne złożenie pojemnika z wydrukowanych elementów.



*Rys. 5. Złożenie pojemnik a wydrukowanych części*

Schemat układu elektronicznego wykonano w darmowym programie Fritzing. Jest to oprogramowanie o charakterze Open-source, pozwalające na amatorskie i hobbystyczne tworzenie oprogramowania CAD do projektowania urządzeń elektronicznych. Program umożliwia tworzenie ich prototypów na płytkach stykowych, rysowanie schematów czy projektowanie płytek drukowanych [11].



Rys. 6. Schemat układu elektronicznego

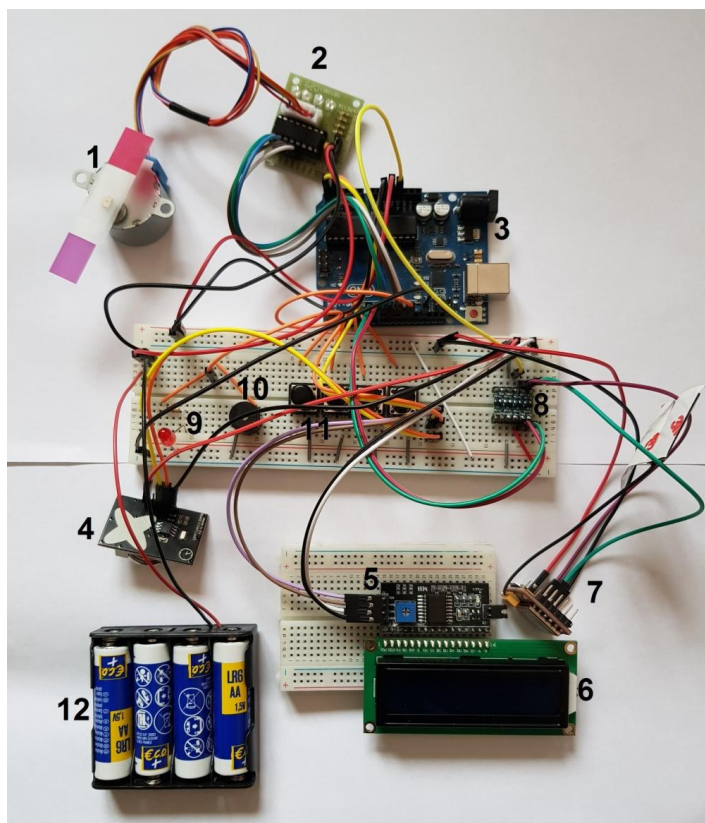
Układ elektroniczny automatycznego pojemnika na leki przedstawiony na rysunkach 6 i 7 składa się z:

- 1) silnika krokowego 28BYJ-48-5V,
- 2) sterownika silnika krokowego ULN2003,
- 3) mikrokontrolera Arduino Uno,
- 4) modułu RTC DS1307 z baterią CR2032,
- 5) konwertera LCD HD44780 I2C,
- 6) wyświetlacza LCD 2×16,
- 7) modułu GSM/GPRS SIM800L z anteną GSM ze złączem U.FL,
- 8) konwertera poziomów logicznych 3,3V/5V,
- 9) diody LED 5mm z rezystorem 1kΩ,
- 10) buzzera z generatorem,

11) 4 przycisków,

12) baterijnego zasilania silnika  $4 \times 1,5V$ .

Na rysunku 7 niewidoczne jest zasilanie baterią PP3 9 V pinu VIN Arduino Uno.



*Rys. 7. Prototypowy układ elektroniczny*

W projekcie wykorzystano silnik sterowany unipolarnie. Podczas sterowania półkrokowego unipolarnego silnikiem krokowym zasilane są naprzemiennie raz jedno uzwojenie, a następnie obydwie. Powoduje to przesunięcie wirnika o połowę kroku [8]. Silnik krokowy 28BYJ-48 zasilany jest napięciem 5 V, dlatego w pierwszej fazie projektu jego zasilanie odbywało się bezpośrednio z mikrokontrolera Arduino Uno. W czasie pracy silnika, przy ruchu jak i w momencie zatrzymania wału, silnik pobierał prąd o wartości około 370 mA. Powodowało to liczne błędy w funkcjonowaniu pozostałych modułów, tj. modułu czasu rzeczywistego i modułu GSM, dlatego zdecydowano się na oddzielne zasilanie

silnika krokowego wraz ze jego sterownikiem przy pomocy czterech baterii AA, każda po 1,5 V. Napięcie zasilania sterownika wynosi 5 V – 12 V, więc otrzymane z baterii 6 V mieści się w tym zakresie [9]. Moduł sterownika ULN2003 skonstruowany jest na układzie Darlingtona, w którym znajdują się dwa tranzystory bipolarne. Emiter pierwszego z nich połączony jest z bazą drugiego, dzięki czemu współczynniki wzmocnienia prądowego obydwu tranzystorów mnożą się. Dzięki temu pobierając z mikrokontrolera natężenie prądu nawet rzędu kilkukilkudziesięciu miliamperów, silnik otrzyma prąd znacznie wzmocniony [12]. Pozwala to na proste sterowanie 4-fazowymi silnikami krokowymi używając platformy Arduino.

Do odmierzania czasu w projekcie wykorzystano moduł czasu rzeczywistego DS1307. Jego zasilanie odbywa się z Arduino, mikrokontroler odbiera dane z modułu poprzez piny analogowe A4 i A5, które pełnią rolę linii SDA i SCL. W momencie braku zasilania odmierzanie czasu odbywa się dzięki dodatkowej baterii CR2032. Sterując RTC w programie zastosowano następujące biblioteki: Wire.h oraz RTCLib.h. Otrzymywane z modułu czasu rzeczywistego dane zostają przedstawione na wyświetlaczu. Dzięki zastosowaniu konwertera magistrali I2C znacznie zmniejszono liczbę portów potrzebnych doysterowania wyświetlacza, ponieważ nie ma on bezpośredniego połączenia z Arduino, komunikacja odbywa się poprzez linie danych i zegarową używane przez RTC. Wyświetlacz z konwerterem w czasie pracy pobierają prąd 20 mA. Obsługa wyświetlacza z konwerterem magistrali I2C odbywa się przy użyciu biblioteki LiquidCrystal\_I2C.h.

Zastosowany w projekcie moduł SIM800L komunikuje się z Arduino poprzez transmisję szeregową oraz komendy AT. Komendy AT, będące znakami ASCII, przesyłane są do modułu GSM za pomocą interfejsu UART. Zastosowana w projekcie funkcja przesyłania krótkich wiadomości tekstowych modułu SIM800L możliwa jest pomiędzy aparatami GSM dzięki wykorzystaniu Centrum Serwisowego [13]. Moduł zasilany jest z mikrokontrolera. Do połączenia pinów komunikacji szeregowej TXD oraz RXD zastosowano konwerter poziomów logicznych z 5 V na 3,3 V. Moduł wyposażono również w dodatkową antenę zwiększającą zasięg. Do działania modułu niezbędna jest karta SIM, która wymaga regularnego uzupełniania środków na koncie. Obsługa modułu GSM przez mikrokontroler odbywa się za pomocą biblioteki SoftwareSerial. W czasie pracy moduł pobiera prąd wielkości około 100 mA w momencie łączenia z siecią oraz 50 mA w chwili wysyłania wiadomości tekstowej. W stanie spoczynku jest to około 2 mA.

Do ustawiania alarmu służą monostabilne przyciski o rozmiarze 12×12 mm i wysokości 11 mm. Automatyczny pojemnik na leki wyposażony jest w cztery takie przyciski: OFF – do wyłączania alarmu, NR – do przejścia do trybu ustawiania alarmu oraz wyrobu numeru alarmu, H – do ustawiania godziny oraz M – do ustawiania minuty alarmu. Alarm jest sygnalizowany poprzez przerywany dźwięk z buzzera tonu ciągłego z generatorem o głośności 85 dB oraz migałącą diodę LED 5 mm z rezystorem 1 kΩ [9]. W czasie pracy pobierają one prąd 8-10 mA.

Główny szkielet programu sterującego automatycznym pojemnikiem na leki opiera się na instrukcji switch. Dzięki niej wyróżniane są dwa tryby. Pierwszy – normalny, w którym wyświetlacz pokazuje datę oraz godzinę, a urządzenie „czeka” na nadejście godziny alarmu oraz drugi – tryb ustawiania alarmu, przejście do niego następuje poprzez wciśnięcie przycisku NR.

Po uruchomieniu części elektronicznej oraz skompletowaniu wszystkich elementów niezbędnych do budowy urządzenia, przystąpiono do jego montażu. Łączenie ze sobą części wydrukowanych w technologii 3D, szczególnie tych zachodzących na siebie, wymagało minimalnego ich szlifowania. Proces montażu przedstawiono na rysunkach 8-14. Pierwszym krokiem było przykręcenie do podstawy silnika krokowego przy pomocy śrub, których łby chowały się w wyfrezowanych wcześniej otworach (Rys. 8).



*Rys. 8. Zamocowany do podstawy silnik krokowy*

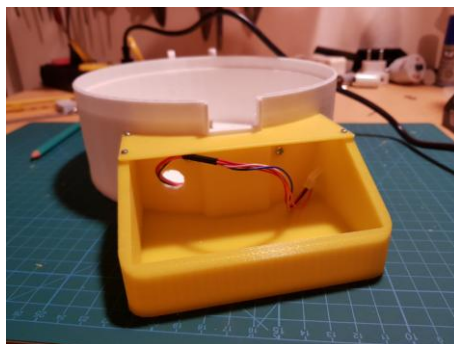
Kolejny to przyłączenie do obudowy panelu sterowania oraz wywiercenie otworu, przez który przeprowadzone będą przewody do następujących elemen-



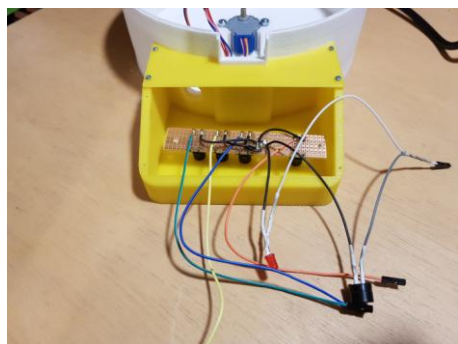
tów: wyświetlacza LCD, przycisków, diody i buzzera. Zamontowany panel oraz powstały otwór pokazano na rysunkach 9 i 10. Przyciski znajdujące się w panelu sterowania zostały przylutowane do płytki uniwersalnej, przyłączone zostały też przewody którymi sygnał będzie docierał do mikrokontrolera (Rys. 11). Płytkę z przyciskami i przewodami została przykręcona do panelu wyświetlacza. Przy-  
mocowane za pomocą kleju na gorąco zostały też dioda i buzzer (Rys. 12).



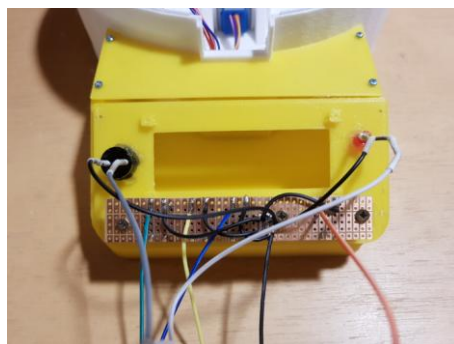
*Rys. 9. Przykręcony panel sterowania*



*Rys. 10. Panel sterowania z otworem*



*Rys. 11. Płytkę z przylutowaną elektroniką*



*Rys. 12. Panel wyświetlacza – widok od tyłu*

Kolejnym etapem było wykonanie płytki z częścią układu znajdującą się w podstawie urządzenia. Do płytki przylutowane zostały moduły RTC, SIM i konwerter poziomów logicznych oraz przewody połączeniowe do mikrokontrolera Arduino Uno i elementów umiejscowionych w panelu sterowania. Następnie w tylnej części podstawy wywiercono otwory na włączniki. Jeden z nich wyłącza zasilanie silnika krokowego, drugi mikrokontrolera wraz z pozostałą częścią układu. W następnym kroku mikrokontroler, płytkę z modemami oraz sterownik silnika krokowego przykręcono do obudowy, a zasilanie bateryjne



przymocowano za pomocą pistoletu do kleju na gorąco. Na rysunku 13 przedstawiono umiejscowienie całej elektroniki sterującej w pojemniku.



*Rys. 13. Układ elektryczny przymocowany do pojemnika*

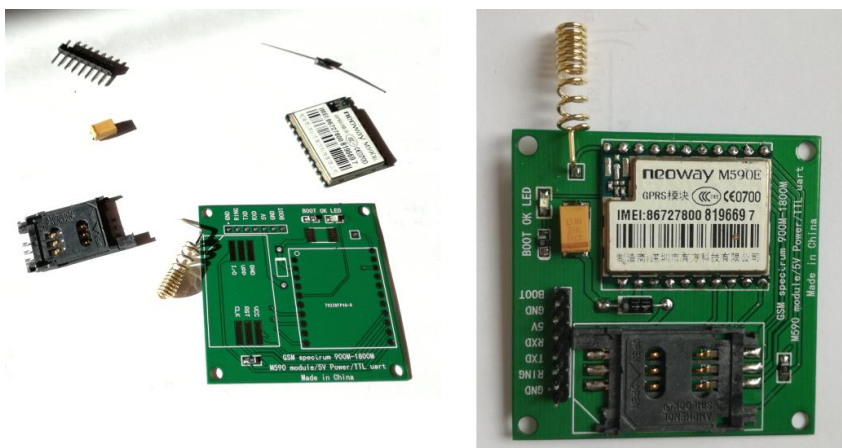
Ostatnim krokiem było umieszczenie na wale silnika rotora z przegrodami na leki przy pomocy rdzenia i zamocowanie pokrywy, co wymagało docięcia ośki zawiasu. Rysunek 14 przedstawia kompletne urządzenie.



*Rys. 14. Gotowe urządzenie*

## 2.4. TESTOWANIE AUTOMATYCZNEGO POJEMNIKA NA LEKI

Wstępne testowanie urządzenia polegało na sprawdzaniu poprawności działania samego układu elektronicznego. Podczas programowania poszczególnych elementów osobno, problem wystąpił tylko w przypadku modułu GSM Neoway M590E (Rys. 15). Pomimo licznych prób moduł nie łączył się z siecią, ani nie reagował na żadne polecenia. Moduł był bardzo tani i niektóre jego elementy pochodziły z wylutu, dlatego liczone się z tym, że może nie działać poprawnie. Zastosowano inny moduł GSM, a mianowicie SIM800L, który pokazany był na rysunkach w poprzednim podrozdziale. Ten moduł działał już poprawnie, jednak czasami tracił połączenie z siecią. Zaistniały problem został rozwiązany poprzez zastosowanie zewnętrznej anteny z przewodem.



Rys. 15. Moduł GSM Neoway M590E – przed i po lutowaniu

Gdy wszystkie elementy układu elektronicznego zostały złożone w całość, podczas próby testu kompletnego programu sterującego urządzeniem, w momencie ruchu wału silnika wystąpiły zakłócenia w pracy modułu RTC. Ustalono, że spowodowane jest to zbyt dużym obciążeniem prądowym układu przez silnik krokowy, dlatego został on zasilony z oddzielnego źródła. Po przeprowadzeniu tej zmiany nie występowały już żadne problemy w działaniu części elektronicznej urządzenia. Modyfikacjom ulegał już tylko sam kod programu do momentu uzyskania zadowalającego efektu.

Kolejny etap testów nastąpił po złożeniu części elektronicznej i mechanicznej urządzenia. W czasie działania układu sporadycznie występowały zakłócenia w działaniu modułu czasu rzeczywistego i wyświetlacza, spowodowane było to

mało stabilnym połączeniem wtyczek przewodów. Podczas dotykania układu i dociskania wtyczek w płytce stykowej następowała wyraźna poprawa. Wszystkie komplikacje ustąpiły po przylutowaniu układu do płytki uniwersalnej.

Następny problem wystąpił po pomalowaniu znajdującego się w urządzeniu przezroczystego rotora. Kilka warstw farby zwiększyło grubość tego elementu i rotor nie ślizgał się już z taką jak wcześniej łatwością. Moment obrotowy zastosowanego w projekcie silnika krokowego nie był wystarczający duży, aby przewyciężyć siłę tarcia występującą pomiędzy podstawą pojemnika a rotorem z przegrodami. Silnik nie był w stanie obrócić rotora o żądany kąt, ale zeszlifowanie krawędzi obudowy pojemnika rozwiązało ten problem. Jednak, gdy będzie więcej leków w przegrodach, moment obrotowy silnika może okazać się niewystarczający do płynnego działania całego urządzenia. Z tego powodu przy dalszej pracy z pojemnikiem, znajdujący się teraz w projekcie silnik krokowy zostanie zastąpiony modelem o większym momencie obrotowym. Na rysunku 16 przedstawiono działający automatyczny pojemnik na leki.



*Rys. 16. Finalna działająca wersja automatycznego pojemnika na leki*

### 3. PODSUMOWANIE

W ramach projektu otrzymano w pełni funkcjonalne urządzenie, które może zostać zastosowane przez chorych zmuszonych do regularnego zażywania dużych ilości leków. Automatyczne pojemniki na leki znacznie ułatwiają systematyczne dawkowanie tabletek i przyspieszają powrót chorego do zdrowia. Dzięki temu zyskują popularność wśród ludzi w różnym wieku.

Wykonano automatyczny pojemnik na leki z alarmem ustawianym cztery razy dziennie oraz obracającym się przy pomocy unipolarnego silnika krokowego rotorem z przegrodami. Urządzenie posiada też funkcję powiadomienia opiekuna, o nieprzyjęciu przez chorego leków, przy pomocy wiadomości SMS. Podczas realizacji projektu, szczególną uwagę zwrócono na stworzenie możliwie prostego interfejsu pojemnika dla użytkownika. Z tego względu na panelu sterowania umieszczono jedynie wyświetlacz LCD i 4 duże przyciski: OFF – służący do wyłączenia alarmu, NR – pozwalający wybrać numer ustawianego powiadomienia, H – do ustawienia godziny oraz M – do ustawienia minuty alarmu oraz diodę powiadamiającą o konieczności zażycia leków. Wymienione wyżej rozwiązania i prostota zaprogramowania urządzenia pozwalają na jego obsługę nawet przez osoby starsze czy niepełnosprawne. Powstało praktyczne urządzenie, spełniające założenia projektu.

Istnieje jeszcze wiele możliwości rozbudowy urządzenia o kolejne funkcjonalne cechy. Pierwszym sposobem może być zastosowanie żyroskopu jako wyłącznika alarmu. Wtedy dźwięk i dioda powiadamiająca wyłączałyby się tylko w momencie przechylenia pojemnika w czasie wysypywania leków. Przycisk, który do tej pory wyłączał alarm mógłby stać się wtedy przyciskiem awaryjnym, do zażywania leków w nagłych przypadkach, na przykład przy reakcji alergicznej u alergików. Kolejnym ulepszeniem mogłaby być rozbudowa oprogramowania, a mianowicie dodanie możliwości zmiany trybu alarmu na np. 3 razy dziennie przez 9 dni, 2 razy dziennie przez 14 dni, czy raz dziennie przez 28.

### LITERATURA

- [1] Chawla S., *The Autonomous Pill Dispenser. Mechanizing the Delivery of Tablet Medication*, 2016 IEEE 5<sup>th</sup> Global Conference on Consumer Electronics
- [2] Ciocan I., Fizesan R., Palaghita N., Parcas C., *Weekly Electronics Pills Dispenser with Circular Containers*, 2015 IEEE 21<sup>st</sup> International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging

- [3] Ek O.P., Othman N.B., *Pill Dispenser with Alarm Via Smart Phone Notification*, 2016 IEEE 5<sup>th</sup> Global Conference on Consumer Electronics
- [4] Gawęł M., Potulska-Chromik A., *Choroby neurodegeneracyjne: choroba Alzheimera i Parkinsona*, „Postępy Nauk Medycznych”, t. 28, nr 7, 2015, s. 468–476
- [5] Kazimierczak G., *Solid Edge 8/9*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2011
- [6] Kaziunas France A., *Świat druku 3D. Kompendium wiedzy o druku 3D*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2014
- [7] Luźniak T., *Solid Edge ST krok po kroku. Rysowanie i modelowanie tradycyjne*, Wydawca GM System Sp. z o. o., Wrocław 2009
- [8] Przepiórkowski J., *Silniki elektryczne w praktyce elektronika*, Wydawnictwo BTC, 2007.
- [9] Specyfikacje płytek Arduino, silnika krokowego 28BYJ-48 ze sterownikiem ULN2003, modułu SIM800L, wyświetlacza LCD z konwerterem I2C, <https://botland.com.pl/> (dostęp: 26.11.2017)
- [10] Informacje na temat druku 3D, <http://centrumdruku3d.pl> (dostęp: 16.12.2017)
- [11] Informacje na temat programu Fritzing, <http://fritzing.org> (dostęp: 03.01.2018)
- [12] Informacje na temat układu Darlingtona, <https://forbot.pl/> (dostęp: 03.01.2018)
- [13] Informacje na temat komend AT, <https://ep.com.pl> (dostęp: 03.01.2018)

## **PROJEKT I WYKONANIE ROBOTA MOBILNEGO STEROWANEGO MIKROKONTROLEREM**

### **1. WSTĘP**

W dzisiejszych czasach odnotowuje się znaczący wzrost rozwoju mobilnych robotów. W celu zapewnienia ich dużego zasięgu działania oraz jazdy po skomplikowanych układach pomieszczeń roboty te sterowane są bezprzewodowo. Najczęściej wykorzystywane sposoby ich łączności to WiFi, Bluetooth oraz podczerwień [2], [3], [6]. Roboty mobilne wyręczają ludzi w wielu dziedzinach życia, pozwalają przyspieszać oraz udoskonalać np. procesy produkcyjne. Znajdują zastosowanie w dziedzinach takich jak przemysł, transport, a także w gospodarstwach domowych, jako choćby autonomiczne odkurzacze i kosiarki. Wiele z robotów mobilnych posiada też cechy humanoidalne. Potrafią one wchodzić w interakcje z ludźmi rozmawiając z nimi, poruszając się, a także naśladować mimikę twarzy człowieka podczas różnych stanów emocjonalnych [1]. Roboty takie wykorzystuje się w celach edukacyjnych, leczenia pewnych chorób np. autyzmu, jako interaktywne reklamy, a także często jako gadżet rozrywkowy umilający ludziom życie.

Robot opisywany w niniejszej pracy jest mobilny, sterowany bezprzewodowo, a nad jego funkcjonowaniem czuwa mikroprocesor. Ponadto, posiada głowę, która potrafi odwzorowywać w uproszczony sposób mimikę człowieka podczas różnych stanów emocjonalnych. Jest to również projekt, który można jeszcze rozbudować o wiele innych bardziej skomplikowanych funkcji.

### **2. PROJEKT I WYKONANIE ROBOTA MOBILNEGO**

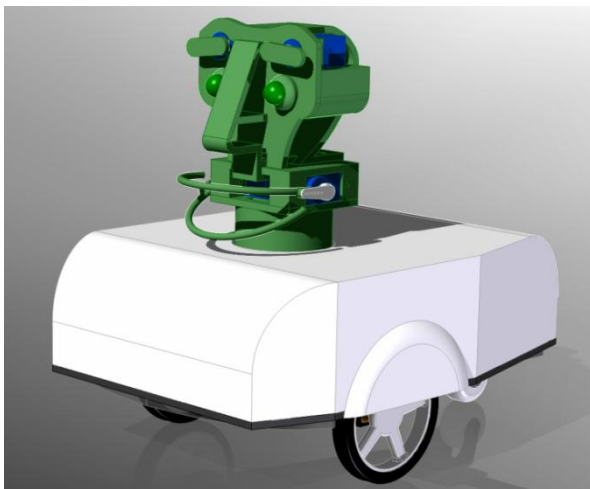
Celem niniejszej pracy było zaprojektowanie i skonstruowanie robota mobilnego sterowanego mikrokontrolerem. Możliwość kontroli nad urządzeniem odbywa się bezprzewodowo przy użyciu łączności Bluetooth z poziomu telefonu. Na jeżdżącej platformie została umieszczona również głowa robota, która jest

---

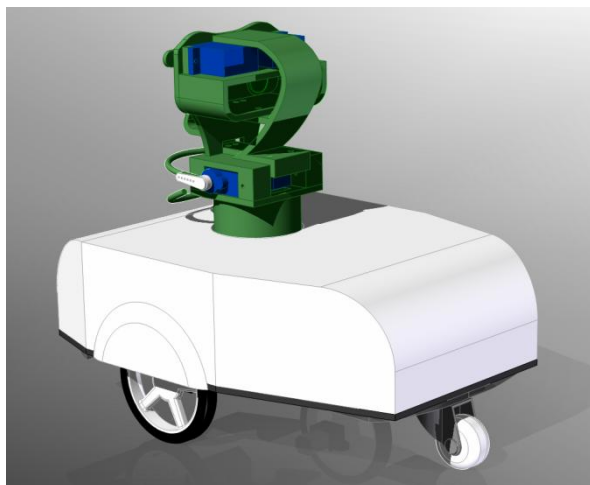
<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, Koło Naukowe „SEMICON”

zdolna do naśladowania w uproszczony sposób mimiki twarzy ludzkiej. Możliwy jest ruch brwi, warg, a także obrót szyi robota.

Obudowa, niektóre elementy montażowe oraz głowa robota zostały zaprojektowane w 3D w programie Solid Edge ST9. Następnie części zostały wydrukowane na drukarce addytywnej w technologii FDM (ang. *Fused Deposition Modelling*) [4]. Stworzony został również autorski układ elektroniczny oraz kod programu w środowisku Arduino IDE.



Rys. 1. Rendering robota mobilnego w programie Solid Edge ST9 – widok z przodu



Rys. 2. Rendering robota mobilnego w programie Solid Edge ST9 – widok z tyłu

## 2.1. SPOSÓB DZIAŁANIA ROBOTA MOBILNEGO

Opisywany w projekcie robot mobilny porusza się używając dwóch kół o średnicy 5 cm oraz rolki skrzętnej umieszczonej z tyłu podwozia. Koła napędzane są przez dwa silniki DC (ang. *Direct Current* – prądu stałego) Pololu HP 75:1 posiadające zintegrowaną przekładnię redukującą prędkość obrotową silnika do 400 obr/min. Maksymalna prędkość liniową robota można obliczyć na podstawie znanej prędkości obrotów silnika oraz promieni kół [7].

1. Zamiana obr/min na rad/s

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 400 \frac{\text{obr}}{\text{min}}}{60} = 41,89 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (1)$$

2. Zamiana prędkości obrotowej na liniową

$$v = \omega \cdot r = 41,89 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot 0,025 \text{ m} = 1,05 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 3,78 \frac{\text{km}}{\text{h}} \quad (2)$$

gdzie:

n – obroty silnika,

r – promień koła,

v – prędkość liniowa.

Platforma jeżdżąca jest w stanie poruszać się do przodu, do tyłu oraz w lewo i prawo. Skręt w lewo odbywa się poprzez napędzanie tylko prawego koła oraz analogicznie skręt w prawo możliwy jest przez napędzanie lewego koła.

Głowa robota wykonuje ruch brwiami oraz wargami za pomocą serw modelarskich TowerPro SG-90-micro. Ich moment obrotowy wynosi 0,18 Nm, a orczyk pokonuje 60 stopni w 0,1 sekundy. Masa brwi oraz warg nie przekracza 2 g, a więc zastosowanie tego modelu serwomechanizmu zapewnia płynny ruch wymienionych elementów. Pojedyncze serwo waży zaledwie 9 g. Niewielka masa przyczyniła się do zmniejszenia momentu bezwładności głowy i obniżeniu środka ciężkości robota co pozytywnie wpłynęło na sterowanie. Do obrotu szyi służy mocniejsze pod względem przekładni zębatej oraz oferujące większy moment obrotowy serwo Futaba S3003 Standard. Jego moment obrotowy to 0,31 Nm i pozwala on na bezproblemowe obracanie głową ważącą ok. 130 g.

W głowę wbudowane są również dwie diody LED (ang. *Light-Emitting Diode* – dioda elektroluminescencyjna), emitujące fale o długości 520 nm. Średnica ich zielonej soczewki to 10 mm. Użyte zostały w celu lepszego odwzorowania emocji ludzkich, jakie może naśladować twarz robota. Mogą one naprzemiennie migać, bądź świecić się na stałe. Emocje jakie jest w stanie naśladować twarz robota, czyli radość, smutek, złość i przerażenie przedstawione na rysunku 3.

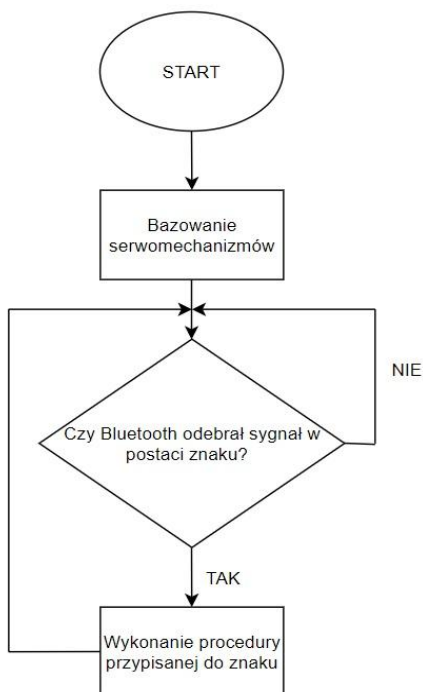




Rys. 3 Emocje naśladowane przez robota: (od lewej) radość, smutek, złość, przerażenie

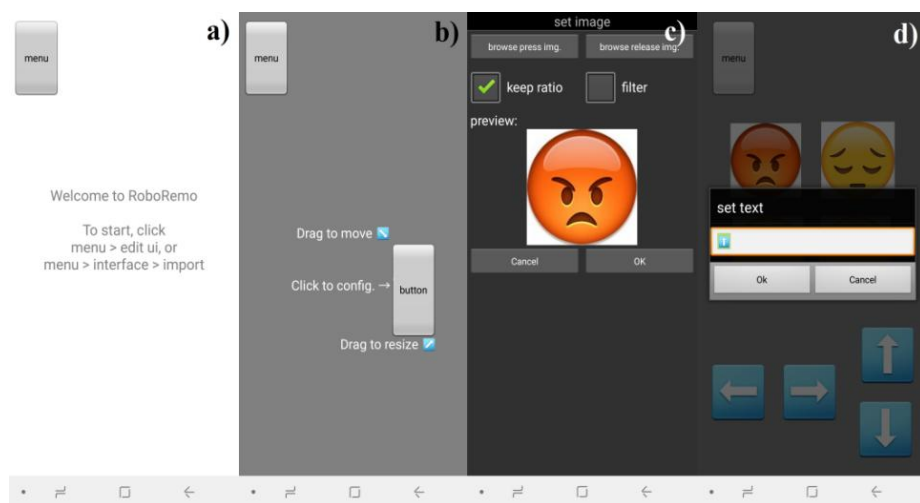
### 2.1.1. Zasada działania sterowania

Robot mobilny opisywany w projekcie sterowany jest bezprzewodowo telefonem z oprogramowaniem Android oraz dedykowaną aplikacją. Do bezprzewodowej komunikacji została użyta łączność Bluetooth. Ogólny schemat algorytmu sterowania przedstawiono na rysunku 4.



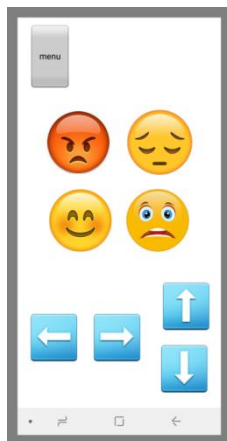
Rys. 4. Schemat blokowy algorytmu sterowania

Aplikacja jaka została wykorzystana do budowy interfejsu panelu sterowania robota w systemie Android to RoboRemo. Pozwala ona na umieszczanie przycisków, suwaków, diod LED, wyświetlanie wartości pewnych parametrów bądź rysowanie wykresów np. napięcia w czasie. Oferuje możliwość sterowania konkretnym urządzeniem bezprzewodowo poprzez łączność Bluetooth, WiFi, a także przewodowo przez port USB (ang. *Universal Serial Bus* – uniwersalna magistrala szeregową). Aplikacja pozwala też pozyskiwać dane z akcelerometru i żyroskopu telefonu i sterować np. robotem mobilnym, poprzez odpowiednie przechylenie komórki. Możliwa jest personalizacja konkretnych przycisków tworzonego panelu sterowania przez wypełnianie ich tła obrazami lub wyświetlanie na nich tekstu, czy ikon. Proces budowy interfejsu przedstawiono na rysunku 5.



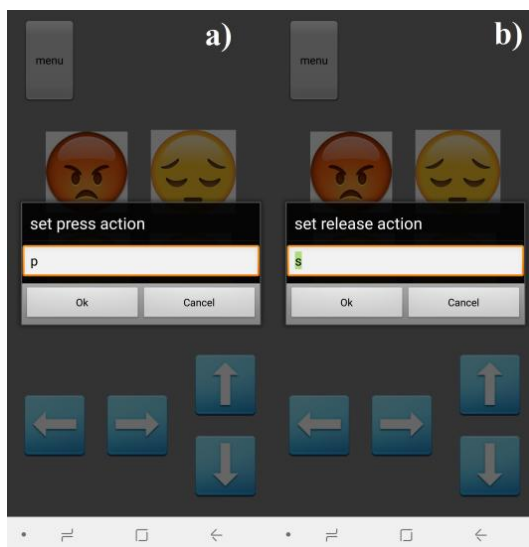
Rys. 5. Proces tworzenia interfejsu panelu sterowania w aplikacji RoboRemo a) ekran startowy aplikacji, b) proces dodawania i przemieszczania przycisków, c) personalizowanie wyglądu przycisków, d) dodawanie tekstu/ikon na przyciskach

Gotowy interfejs aplikacji do obsługi opisywanego robota mobilnego przedstawiono na rysunku 6. Dotykając poszczególnych ikon strzałek skierowanych w różnych kierunkach możliwe jest sterowanie ruchem platformy jeżdżącej w odpowiednią stronę. Przytrzymanie danego przycisku powoduje nieprzerwaną pracę wybranego silnika lub silników w określonym kierunku. Odpuszczenie przycisku skutkuje zanikiem napięcia na silnikach i powolne wyhamowywanie ich. Wybierając poszczególne ikony emocji, głowa robota odwzorowuje je ruszając brwiami, wargami, obracając się w szyi oraz „mrugając oczami”.



Rys. 6. Interfejs panelu sterowania robota mobilnego w aplikacji RoboRemo

W projekcie został użyty moduł Bluetooth HC – 06. W celu przetestowania, ustalenia hasła do parowania i nadania mu spersonalizowanej nazwy „KONRAD” został on podłączony do komputera poprzez konwerter USB – UART. Bluetooth komunikuje się z mikrokontrolerem Arduino Mega2560 poprzez interfejs szeregowy UART przez piny TX i RX. W aplikacji RoboRemo możliwe jest ustalenie i wysłanie do robota konkretnego znaku przy naciskaniu i odpuszczaniu danego przycisku (Rys. 7).



Rys. 7. Ustalanie znaku wysyłanego przez Bluetooth telefonu: a) przy wciśnięciu przycisku, b) przy odpuszczeniu przycisku

Podczas naciśnięcia przycisku jazdy do przodu telefon wysyła znak „p” do modułu Bluetooth znajdującego się w robocie, a ten przesyła sygnał dalej przez pin TX do mikrokontrolera Arduino, który odbiera go poprzez port RX1. Część kodu programu która odpowiedzialna jest za odebranie znaku „p” i wykonanie konkretnej instrukcji, czyli ustalenia kierunku ruchu obydwu silników do przodu przedstawiono na rysunku 8.

```
Serial1.begin(9600);  
}  
  
void loop()  
{  
  if (Serial1.available() > 0)  
  {  
    char zmienna;  
    zmienna = Serial1.read();  
  
    switch(zmienna){  
      case 'p': //przód  
        digitalWrite(AIN1, LOW); // Silnik nr 1 - do przodu  
        digitalWrite(AIN2, HIGH);  
        digitalWrite(BIN2, HIGH); // Silnik nr 2 - do przodu  
        digitalWrite(BIN1, LOW);  
        delay(100);  
        break;
```

Rys. 8. Część listingu programu w środowisku Arduino IDE umożliwiająca odbieranie danych i ustalenie kierunku obrotów silników

`Serial1.begin(9600)` jest funkcją, która ustala prędkość transmisji danych przez piny TX1 i RX1 Arduino Mega2560 na 9600 baud/sec. Funkcja `Serial1.available()` pozwala na zwracanie ilości bajtów, które są odebrane i czekają na obsługę przez Arduino. W momencie odebrania danych `Serial1.available()` będzie większe od zera i instrukcja warunkowa zostanie spełniona, a dane zaczną zapisywać się do zmiennej o nazwie „zmienna”, dzięki funkcji `Serial1.read()`. W przypadku odebrania zmiennej „p” wykonany zostanie odpowiedni przypadek struktury switch, czyli ustalenie kierunku obrotów silnika do przodu.

Kierunek obrotów silników ustalany jest poprzez odpowiednie podanie stanów wysokich i niskich przez mikrokontroler do portów AIN1, AIN2, BIN1, BIN2 sterownika silników. Dzięki informacjom zawartym w tabeli 1 możliwe jest ustalenie dla sterownika Pololu TB6612 w którą stronę będą obracały się silniki.

Tab. 1. Tabela prawdy sterownika Pololu TB6612

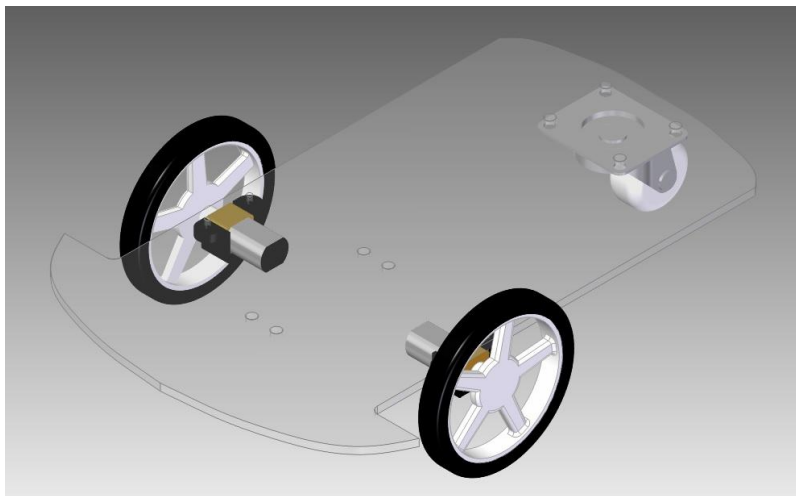
| AIN1<br>BIN1     | AIN2<br>BIN2     | PWMA<br>PWMB                           | Wyjścia<br>silników                                                                                            |
|------------------|------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| stan<br>wysoki   | stan<br>niski    | %<br>wypełnienia<br>(różny od<br>zera) | Silnik kręci się z maksymalną prędkością zadaną poprzez pwm (różną od 0) zgodnie ze wskazówkami zegara.        |
| stan<br>niski    | stan<br>wysoki   | %<br>wypełnienia<br>(różny od<br>zera) | Silnik kręci się z maksymalną prędkością zadaną poprzez pwm (różną od 0) przeciwnie do ruchu wskazówek zegara. |
| stan<br>niski    | stan<br>niski    | bez<br>znaczenia                       | swobodne hamowanie<br>(soft stop)                                                                              |
| stan<br>wysoki   | stan<br>wysoki   | bez<br>znaczenia                       | swobodne hamowanie<br>(soft stop)                                                                              |
| bez<br>znaczenia | bez<br>znaczenia | stan niski<br>0%<br>wypełnienia        | Gwałtowne hamowanie<br>(tzw. hard-stop).                                                                       |

## 2.2. PROJEKT W ŚRODOWISKU SOLID EDGE ST9

Projekt części mechanicznych robota mobilnego został wykonany w środowisku Solid Edge ST9. Jest to program z grupy CAD (ang. *Computer Aided Design* – projektowanie wspomagane komputerowo) służący do przestrzennego projektowania pojedynczych części oraz zespołów, a także tworzenia dokumentacji technicznej. Jest to funkcjonalne środowisko, które pozwala już na etapie projektowania zauważyć kolizje poszczególnych elementów, zarówno jeśli chodzi o ich kształt, a także podczas symulacji ich ruchu. Odbywa się to jeszcze na etapie wirtualnego modelu danego obiektu i pozwala uniknąć poniesienia wysokich kosztów eliminując niedoskonałości urządzenia przed rzeczywistym wyprodukowaniem go [3].

W pierwszej kolejności w środowisku Solid Edge ST9 została zaprojektowana głowa robota. Musiała ona być sztywna, niewielkich rozmiarów oraz lekka. Sztywność konstrukcji była wymagana ponieważ robot jest mobilny, a głowa narażona jest na drgania, a także szarpnięcia podczas przyspieszania, bądź ewentualnych kolizji z otoczeniem. Niewielkie rozmiary podyktowane były estetyką robota. Głowa jest również elementem, który wystaje znacznie nad platformę jeżdżącą, jej duże rozmiary powodowałyby umieszczenie środka ciężkości robota zbyt wysoko, co mogłoby skutkować przewracaniem się konstrukcji na boki podczas jazdy. Dzięki niewielkiej wadze można ograniczyć zużycie akumulatorów i przedłużyć czas pracy urządzenia.

Po zaprojektowaniu głowy robota utworzone zostały elementy składowe platformy jeżdżącej, czyli mocowania serwa, na którym spoczywa głowa, obudowa oraz dystanse między nią, a podłogą. Podłoga, mocowanie silników DC, koła oraz tylna rolka skrzętna są gotowymi, zakupionymi elementami, które zostały tylko odwzorowane w trójwymiarze w programie Solid Edge ST9. Na rysunku 8 przedstawiono zespół tych elementów.

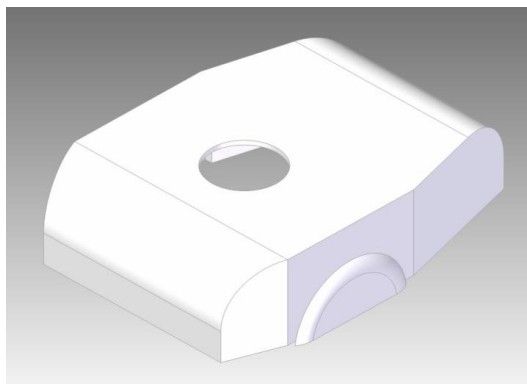


Rys. 8. Wizualizacja podwozia robota mobilnego

Mocowania serwa Futaba S3003 Standard musiały zapewnić stabilność całej głowy, ustalać osadzenie jej w platformie jeżdżącej, a także zajmować jak najmniej miejsca w obudowie.

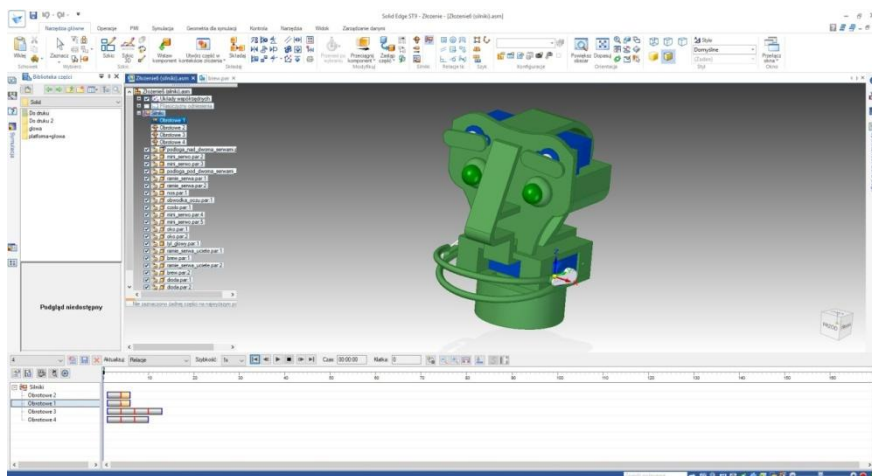
W procesie projektowania obudowy przedstawionej na rysunku 9, celem było zachowanie dużej powierzchni w środku tego elementu na zmieszczenie podze-

spółów elektroniczny oraz zasilania robota. Ważnym aspektem były możliwości wydruku tej części w jednym elemencie na drukarce 3D. Miało to uprościć konstrukcję robota, zachowując jego estetykę i uczynić obudowę bardziej sztywną.



Rys. 9. Projekt obudowy platformy jeżdżącej – widok z góry

Środowisko Solid Edge ST9 umożliwiło przeprowadzenie animacji ruchu członów głowy robota. Pozwoliło to na etapie projektu na wyeliminowanie wszystkich kolizji elementów podczas naśladowania poszczególnych emocji przez głowę. Ułatwiło to również napisanie odpowiedniego kodu programu w środowisku Arduino IDE, ponieważ znane były maksymalne kąty o jakie może obrócić się ramię serwomechanizmu, żeby nie powodować kolizji warg o siebie, nos, a także o obudowę.



Rys. 10. Animacja głowy robota w środowisku Solid Edge ST9

### 2.3. BUDOWA I WYKONANIE ROBOTA MOBILNEGO

Większość elementów mobilnego robota została wydrukowana na drukarce addytywnej Leapfrog Creatr Dual-Extruder metodą FDM. Urządzenie to pozwala na wytwarzanie obiektów o maksymalnych wymiarach 200×270×230 mm. Producent deklaruje maksymalną dokładność drukowanych części na poziomie  $\pm 0,05$  mm, zależy to też oczywiście od jakości filamentu i prędkości drukowania. Wykonanie elementów w takiej technologii pozwoliło na szybkie przejście od wirtualnego modelu 3D do rzeczywistego projektu.

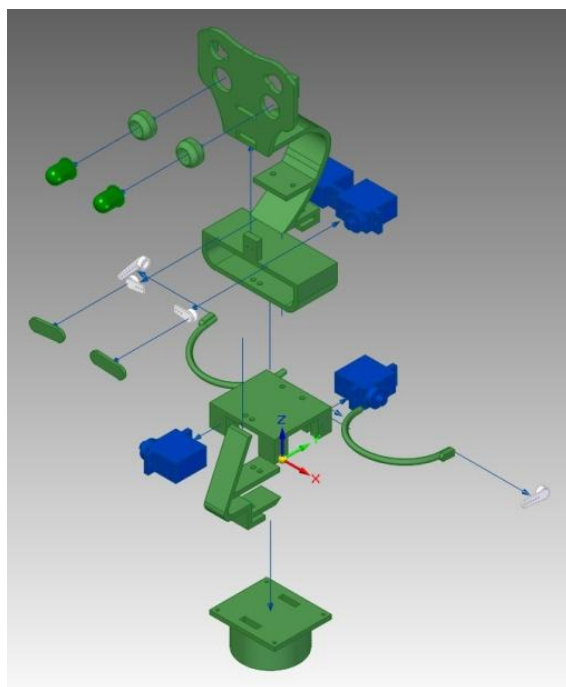
Filament użyty do tworzenia części miał średnicę 1,75 mm, a tworzywa z jakich drukowany był projekt to PLA (ang. *polylactide* – polilaktyd), ABS (ang. *acrylonitrile butadiene styrene* – kopolimer akrylonitrylo-butadieno-styrenowy) oraz PET (ang. *polyethylene terephthalate* - politereftalan etylenu).



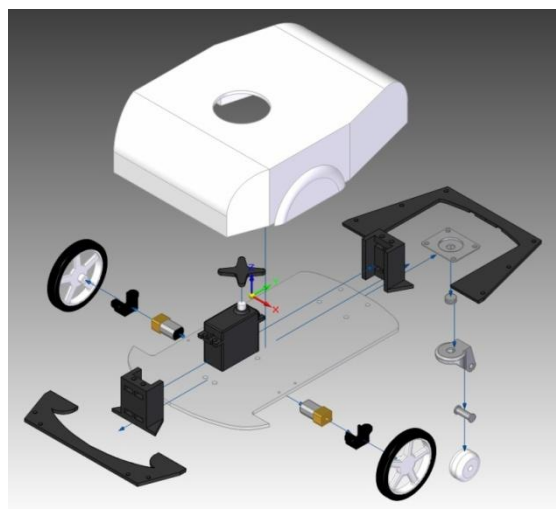
*Rys. 11. Części głowy robota wydrukowane z tworzywa PET*

Części mechaniczne, serwa i diody LED, z jakich składa się robot mobilny, zostały przedstawione na rysunkach 12 i 13. Funkcja rozstrzelenia w programie Solid Edge pozwala na rozebranie części danego urządzenia w złożeniu i pokazanie poszczególnych członów składowych. Możliwe jest dzięki niej przeanalizowanie budowy konstrukcji.





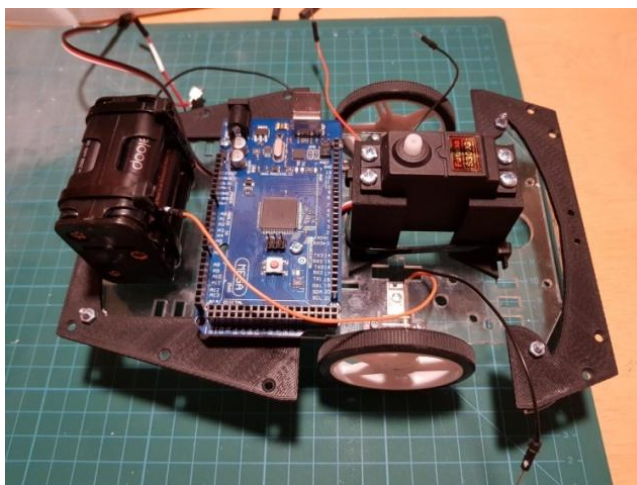
Rys. 12. Rozstrzelenie głowy robota w programie Solid Edge ST9



Rys. 13. Rozstrzelenie platformy jeżdżącej robota w programie Solid Edge ST9

Mikrokontroler Arduino Mega2560 zamocowano czterema nagwintowanymi mosiężnymi tulejami dystansowymi. Koszyk z sześcioma akumulatorkami AA

(źródło zasilania 7,2 V) i bateria PP3 (źródło zasilania 9 V) przytwierdzone są do podłogi opaskami szybkozaciskowymi, dzięki temu można je zdemontować po odkręceniu obudowy w celu ich naładowania, bądź wymiany. Na rysunku 14 przedstawiono podwozie robota mobilnego wraz z zamocowanym serwo mechanizmem Futaba S3003 Standard, mikrokontrolerem Arduino Mega2560 i koszykiem z sześcioma akumulatorkami AA. Rys. 15. przedstawia finalny wygląd robota.



*Rys. 14. Podwozie platformy jeżdżącej wraz zamocowanym serwo mechanizmem, mikrokontrolerem i koszykiem na akumulatorki*



*Rys. 15. Finalny wygląd złożonego robota mobilnego – widok z boku*

## 2.4. PROJEKT I WYKONANIE UKŁADU ELEKTRONICZNEGO

Projektowanie elektroniki potrzebnej do sterowania mobilnego robota rozpoczęto od stworzenia testowej platformy jeżdżącej. Mikrokontrolerem wykorzystanym do testowej wersji sterowania było Arduino Uno zasilane baterią PP3 napięciem 9 V. Sterownikiem silników był układ scalony L293D w obudowie przewlekanej. Posiada on dwa kanały do sterowania dwoma silnikami. Ciągły prąd dopuszczalny na jeden kanał to 0,6 A, a maksymalny chwilowy 1,2 A. Silniki charakteryzowały się momentem obrotowym 0,049 Nm, poborem prądu ok. 180 mA i mogły być zasilane napięciem 5 V, które było dostarczane z 4 akumulatorów AA. Do komunikacji z telefonem posłużył moduł Bluetooth HC-06, który został użyty również w finalnej wersji robota. Wersja testowa pozwoliła na przetestowanie algorytmu sterowania robotem mobilnym, a także zasięgu łączności Bluetooth.

Silniki radziły sobie z jazdą na płaskim i gładkim terenie, jednak już podczas poruszania się po dywanie wykazywały zbyt mały moment obrotowy. Poza tym poruszały one tylko lekką podłogę z PC oraz komponenty elektroniczne. Dołożenie ciężaru obudowy oraz głowy robota skutkowałoby jeszcze wolniejszą pracą silników, a także grzaniem się sterownika. Poza tym Arduino Uno oferowało tylko 6 kanałów PWM, a do budowy projektu potrzebnych było ich 7 (2 dla silników i 5 dla serwomechanizmów). Kolejnym elementem dyskwalifikującym Arduino Uno był tylko 1 port transmisji szeregowej do którego podpięty był moduł Bluetooth. Przy każdorazowym wgrywaniu programu do mikrokontrolera, moduł trzeba było odpinać.

Robot mobilny przeszedł więc modyfikacje polegającą na zmianie silników, sterownika silników i mikrokontrolera. Do sterowania procesami robota zostało użyte Arduino Mega2560 eliminujące ograniczenia Arduino Uno, a dodatkowo oferujące dużą liczbę portów cyfrowych (54) i analogowych (16), co ułatwi w przyszłości rozbudowę projektu o dodatkowe czujniki oraz elementy wykonawcze. Silniki użyte to Pololu HP 75:1 oferujące lepsze osiągi pomimo małych wymiarów, moment obrotowy jest trzykrotnie większy w stosunku do silników w wersji testowej. Zastosowano też wydajniejszy, oparty na tranzystorach MOSFET, sterownik silników Pololu TB6612FNG, dodatkowy wyposażony w kondensatory filtrujące zasilanie.

Na rysunku 16 przedstawiono schemat montażowy utworzony w programie Fritzing elementów składowych układu elektronicznego projektu, do których należą:

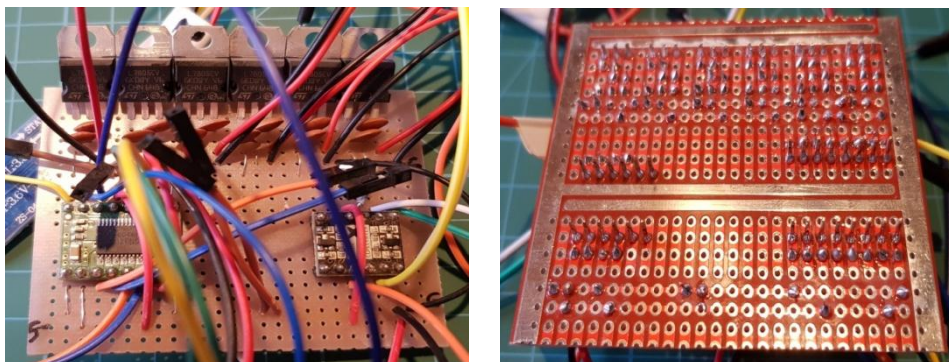
1. mikrokontroler Arduino Mega2560,
2. silniki DC Pololu HP 75:1,
3. sterownik silników Pololu TB6612FNG,
4. serwomechanizmy – cztery TowerPro SG-90-micro i jeden Futaba S3003 Standard,
5. moduł Bluetooth HC-06,
6. konwerter poziomów logicznych 3,3 V/5 V,
7. zielone diody LED 10 mm wraz rezystorami 330  $\Omega$ ,
8. stabilizatory napięcia L7805CV wraz z ceramicznymi kondensatorami każdy 100 nF,
9. zasilanie 9 V z baterii PP3,
10. zasilanie 7,2 V (6 akumulatorów AA o napięciu 1,2 V).

-63-

(TX1) mikrokontrolera na 3,3 V wymaganego przez moduł Bluetooth HC-06.

Jak widać na rysunku 16, w układzie zastosowano dwa oddzielne źródła zasilania. Pierwsze z nich to bateria PP3 o napięciu znamionowym 9 V i wydajności prądowej ok. 400 mAh. Służy ona do zasilania logiki mikroprocesora Arduino Mega2560 oraz sygnałów wychodzących z jego portów. Wbudowany w płytkę stabilizator obniża napięcie z 9 V na 3,3 V i zasila piny niskiego napięcia w konwerterze poziomów logicznych. Drugi wbudowany w Arduino stabilizator obniża napięcie 9 V na 5 V i zasila piny wysokiego napięcia w konwerterze poziomów logicznych, logikę sterownika silników oraz podaje stan wysoki na pin STBY sterownika w celu włączenia jego układu. Drugie źródło zasilania to sześć bardzo wydajnych akumulatorów AA każdy o pojemności prądowej 2500 mAh i całkowitym napięciu znamionowym 7,2 V. Zasilane są z niego bezpośrednio silniki DC, które tolerują napięcie od 3 V do 9 V, a także przez stabilizatory napięcia L7805CV obniżające je do wymaganych 5 V wszystkie serwomechanizmy oraz moduł Bluetooth. Dodatkowo, pomiędzy wejście i wyjście stabilizatorów L7805CV zostały zastosowane kondensatory ceramiczne o pojemności 100 nF w celu filtracji zasilania. Źródła zasilania zostały podzielone na dwa oddzielne w celu uzyskania stabilnej pracy całego robota. Dzięki temu układ logiczny Arduino nie jest podatny na nagłe skoki napięcia podczas pracy elementów o stosunkowo dużym poborze prądu, czyli serwomechanizmów i silników.

Podczas rzeczywistego tworzenia układu elektrycznego, został on połączony przy użyciu prototypowych płytek stykowych oraz przewodów z wtyczkami męsko-żeńskimi. Po sprawdzeniu działania wszystkich funkcji robota, elementy elektroniczne zostały przeniesione i na trwałe wlutowane w płytkę uniwersalną PDU11 polskiej firmy Kampania Elektroniczna. Znalazły się też na niej żeńskie wyprowadzenia przewodów dla źródeł zasilania, podłączenia silników DC, serwomechanizmów głowy i diod LED. Do układu wlutowane zostały również wyprowadzenia przewodów ze złączami męskimi, które wpięte są bezpośrednio w portu mikrokontrolera znajdującego się pod płytką uniwersalną. Została ona również przycięta, żeby zajęła jak najmniej miejsca pod obudową robota. Na rysunku 17 przedstawiono układ elementów elektronicznych po wlutowaniu na płytkę uniwersalną.



*Rys. 17. Układ podzespołów elektronicznych wlutowanych w płytkę uniwersalną*

### 3. PODSUMOWANIE

Artykuł ten opisuje zaprojektowanie i wykonanie robota mobilnego. W ramach pracy przy urządzeniu przeprowadzono projekt części mechanicznych w programie Solid Edge ST9 i fizyczne wydrukowanie ich na drukarce addytywnej metodą FDM. Wszystkie elementy drukowane są zadawalającej jakości z wyjątkiem obudowy, która posiada pewne niedoskonałości kształtu. Układ elektroniczny podczas testów sprawował się zadowalająco, po zlutowaniu wszystkich podzespołów praca urządzenia była przewidywalna i płynna. Ulepszeniem układu mogłoby być wykonanie płytki drukowanej z indywidualnie zaprojektowanym układem ścieżek. Podczas testów robota nie wystąpiły żadne problemy z parowaniem jego modułu Bluetooth z telefonem, a więc sterowanie robotem można szybko zainicjować, a zasięg łączności wynosi ok. 10 m. Głowa robota jest w stanie odtwarzać różne emocje ludzkie, lecz brak jej jeszcze cech autonomicznych.

Projekt jest przyszłościowy i istnieje możliwość jego rozbudowy. Robota można wyposażać w czujniki zabezpieczające go przed ewentualnymi kolizjami z otoczeniem, a także przetestować sterowanie wykorzystujące akcelerometr i żyroskop wbudowany w telefon. Innym pomysłem na rozbudowę robota może być nadanie mu więcej cech autonomicznych. Platforma mogłaby poruszać się samodzielnie, a głowa robota płynnie odtwarzać emocje, reagować na polecenia głosowe i odpowiadać na określone komendy.

## LITERATURA

- [1] Biswas M., Murray J., *The effects of cognitive biases and imperfectness in long-term robot-human interactions: Case studies using five cognitive biases on three robots*, Elsevier, "Cognitive Systems Research", 2017, vol. 43, p. 266–290
- [2] Houda K., Lakel R., *Synchronized Communication in a Set of Autonomous Mobile*
- [3] Kazimierzczak G., *Solid Edge 8/9*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2011
- [4] Kaziunas France A., *Świat druku 3D. Kompendium wiedzy o druku 3D*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2014
- [5] Ludwin W., Natkaniec M., Łoziak K., Sikora M., Wągrowski M., Dziunikowski W., *Bluetooth – nowoczesny system łączności bezprzewodowej*, Uczelniane Wydawnictwa naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2003
- [6] Papcun P., Tafsi K., Zolotova I., *Control and Teleoperation of Robot Khepera via Android Mobile Device through Bluetooth and WiFi*, Elsevier, "IFAC-PapersOnLine, 2016, vol. 49, Issue 25, p. 188–193
- [7] Przepiórkowski J., *Silniki elektryczne w praktyce elektronika*, Wydawnictwo BTC, Warszawa 2012

# **WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI ELEKTRYCZNE NANOKOMPOZYTÓW METAL-DIELEKTRYK WYTWORZONYCH W ATMOSFERZE CZYSTEGO ARGONU**

## **1. WSTĘP**

Technika rozwija się aktualnie w zaskakująco szybkim tempie, co skutkuje powstawaniem nowych, innowacyjnych urządzeń. Równolegle jednak konieczny jest rozwój inżynierii materiałowej, która dostarcza nam materiały o zupełnie nowych właściwościach. Takimi materiałami są nanostruktury, które posiadają właściwości chemiczno-fizyczne różniące się od materiałów poznanych dotychczas [1]. Wyjątkowość nanomateriałów polega na ich bardzo dobrych parametrach magnetycznych (temperatura Curie i Neela, tunelowy magneto-rezystywny efekt, niskie pole koercji, podwyższony moment magnetyczny) i mechanicznych (mikrotwardość) [2]. Przy przejściu do skali nano należy rozpatrywać wpływ efektów kwantowo-wymiarowych oraz energii powierzchniowej.

W niniejszym referacie przedstawiono podstawowe wiadomości teoretyczne dotyczące nanokompozytów typu metal-dielektryk, a następnie zaprezentowano wyniki badań właściwości elektrycznych tych materiałów.

## **2. NANOKOMPOZYTY METAL-DIELEKTRYK**

Analizując właściwości oraz zastosowanie nanomateriałów, warto zwrócić uwagę na nanokompozyty typu metal-dielektryk, których budowa polega na nanocząstkach metalu rozmieszczonych w dielektrycznej osnowie, którą najczęściej stanowi tlenek krzemu ( $\text{SiO}_2$ ) [3].

Wyróżniają się one bardzo dobrą wytrzymałością mechaniczną oraz wysoką odpornością na korozję. Wykorzystywane mogą być przy produkcji urządzeń

---

<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, Studenckie Koło Naukowe Materiałoznawstwa Elektrycznego i Techniki Wysokich Napięć „MELJON”



takich jak induktry, transformatory, ekrany elektromagnetyczne, nowoczesne sensory, tranzystory czy diody spinowe [2].

Analizując skład nanokompozytów metal-dielektryk, można je podzielić na trzy charakterystyczne zakresy – do progu perkolacji, w pobliżu progu perkolacji i za progiem perkolacji. Próg perkolacji jest to stężenie, po przekroczeniu którego mamy do czynienia z ciągłością jednego nośnika w drugim [4] (rys. 1). Dla nanokompozytów próg perkolacji  $x_c$  to zawartość fazy metalicznej  $x$ , przy której przewodność dielektryczna zmienia się na przewodność metaliczną. Dla  $x < x_c$  przewodność można opisać następującą zależnością:

$$\sigma = \sigma_0 (p - p_0)^t \quad (1)$$

natomiast dla  $x > x_c$  zależność ta przybiera następującą formę:

$$\sigma = \sigma_0 (p_0 - p)^{-s} \quad (2)$$

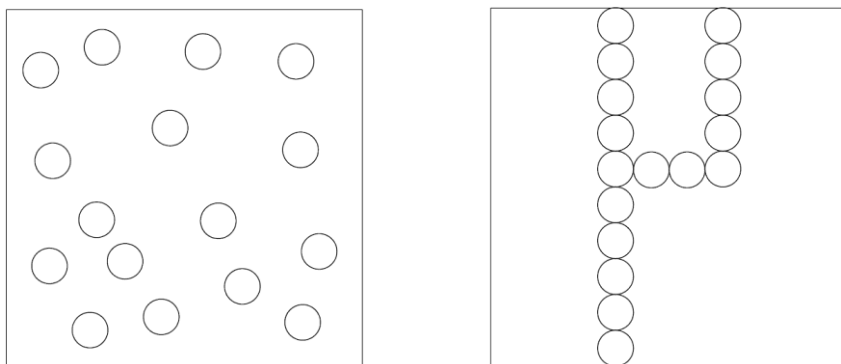
gdzie:

$\sigma_0$  – przewodnictwo fazy przewodzącej;

$p$  – stężenie fazy przewodzącej;

$p_0$  – próg perkolacji;

$t, s$  – wykładniki krytyczne (zależne od topologii układu i jego wymiarowości).



Rys. 1. Proces tworzenia się ciągłości jednego nośnika w drugim

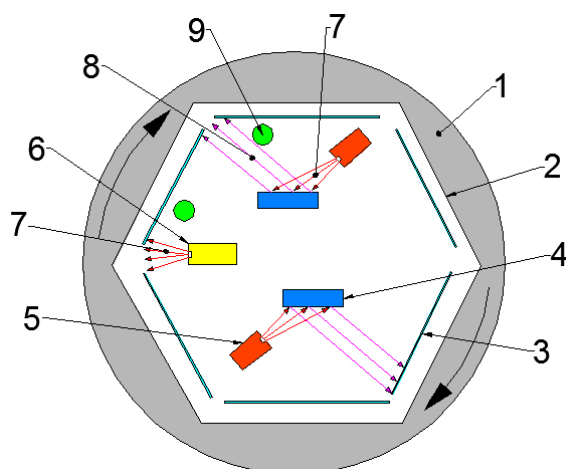
### 3. MATERIAŁ BADAWCZY

Próbki, które podlegały badaniom, składały się z cząstek stopu FeCoZr, rozmieszczonych w dielektrycznej matrycy SiO<sub>2</sub>. Przebadano sześć rodzajów próbek, o różnej zawartości fazy metalicznej  $x$  (tab. 1). Podane wartości at.% zaklasyfikowały zbadane materiały do nanokompozytów metal-dielektryk o wysokiej zawartości fazy metalicznej.

Tab. 1. Opis badanych próbek nanokompozytów

| Próbka | Zawartość fazy metalicznej próbki |
|--------|-----------------------------------|
| $x_1$  | 67,03                             |
| $x_2$  | 68,51                             |
| $x_3$  | 74,00                             |
| $x_4$  | 76,30                             |
| $x_5$  | 79,77                             |
| $x_6$  | 82,81                             |

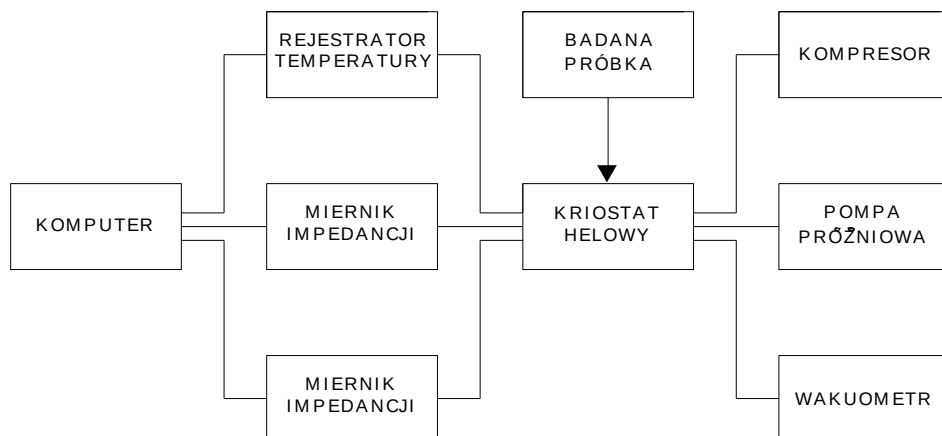
Zbadane materiały zostały wytworzone przy pomocy dwuzródłowego rozpylania jonowego (ion-sputtering). Stop metalu FeCoZr (żelazo, kobalt, cyrkon) powstał dzięki wykorzystaniu pieca indukcyjnego. Do stopu przymocowane zostały płytki dielektryka  $\text{SiO}_2$ , dzięki czemu powstała tarcza podlegająca rozpylaniu. Stanowisko przeznaczone do wytwarzania badanych próbek składa się z obracającego podłoża, na którym umieszcza się wspomniane wcześniej tarcze (rys. 2). Są one bombardowane jonami, które wybijają z nich atomy metalu i dielektryka. Wybity strumień pada na podłoża dielektryczne, tworząc nanokompozyt  $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$ . Do rozpylania tarcz wykorzystano argon [5, 7].



Rys. 2. Stanowisko do wytwarzania nanokompozytów typu metal-dielektryk [6]: 1 – komora próżniowa; 2 – bęben; 3 – podłoża dielektryczne; 4 – rozpylane tarcze; 5 – źródło rozpylania; 6 – źródło wykorzystane do oczyszczania podłoża; 7 – strumienie argonu; 8 – rozpylane atomy; 9 – kompensatory

#### 4. STANOWISKO LABORATORYJNE I SPOSÓB PRZEPROWADZANIA POMIARÓW

Badania zostały przeprowadzone na stanowisku laboratoryjnym znajdującym się w Katedrze Urządzeń Elektrycznych i Techniki Wysokich Napięć Politechniki Lubelskiej (rys. 3).



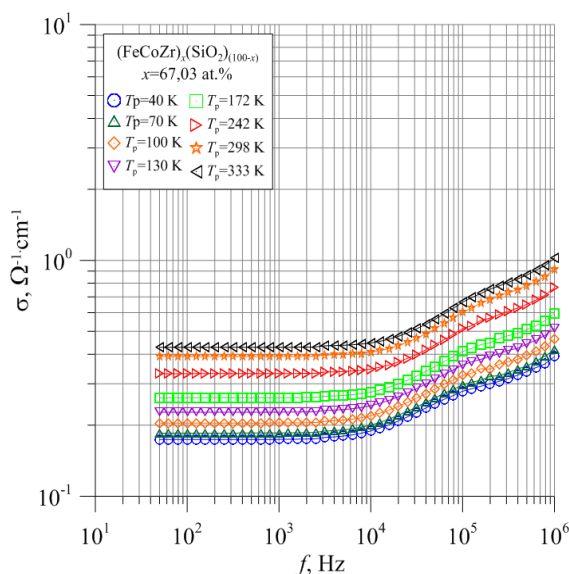
Rys. 3. Schemat strukturalny stanowiska laboratoryjnego (opracowanie własne)

Pomiary wykonano dla zakresu temperatury 20 K – 375 K i dla zakresu częstotliwości 50 Hz – 5 MHz. Zostały wyznaczone graficzne zależności następujących parametrów elektrycznych w funkcji częstotliwości:

- kąta przesunięcia fazowego  $\theta$ ,
- pojemności  $C_p$ ,
- konduktywności  $\sigma$ .

#### 5. WYNIKI POMIARÓW

Rysunki 4, 5, 6, przedstawiają częstotliwościowe zależności konduktywności, kąta przesunięcia fazowego oraz pojemności dla próbki badanego nanokompozytu o zawartości fazy metalicznej 67,03 at.%.

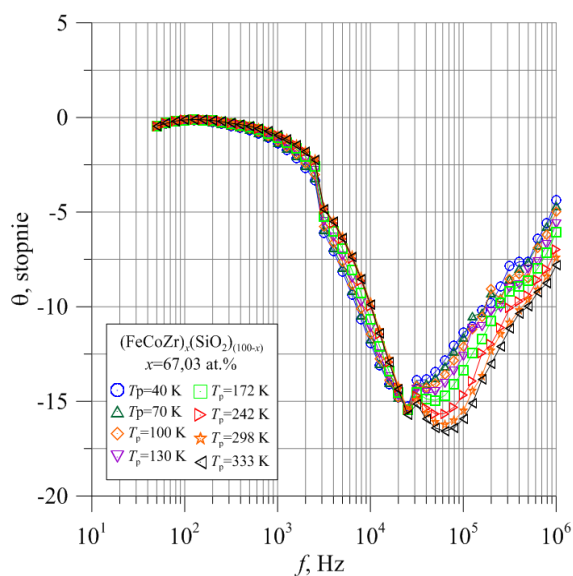


Rys. 4. Częstotliwościowa zależność konduktywności  $\sigma$  dla próbki  $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$  o zawartości fazy metalicznej  $x_1 = 67,03$  at.%

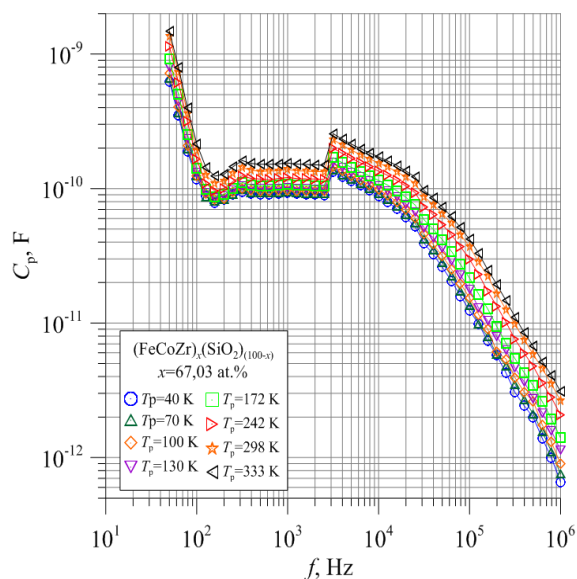
Wraz ze wzrostem temperatury pomiarowej zauważyć można wzrost wartości konduktywności (rys. 4). Świadczy to o występowaniu przewodności dielektrycznej. Do wartości częstotliwości ok.  $f = 10^4$  Hz konduktywność utrzymuje stałą wartość, następnie jej wartości zaczynają wzrastać.

Analizując częstotliwościową zależność kąta przesunięcia fazowego  $\theta$  dla tej próbki, widzimy, że jego wartości w całym zakresie częstotliwości są mniejsze od zera (rys. 5). Możemy zatem wywnioskować, że w tym przypadku występuje przesunięcie pojemnościowe. Temperatura pomiarowa ma niewielki wpływ na wartości kąta  $\theta$  poniżej częstotliwości równej ok.  $f = 2,5 \times 10^4$  Hz. Powyżej tej częstotliwości zwiększanie wartości temperatury pomiarowej powodowało zmniejszanie wartości kąta przesunięcia fazowego.

Kolejny rysunek przedstawia zależność  $C_p = f(f)$ . W przedziale częstotliwości 50 – 150 Hz zauważyć można gwałtowny spadek pojemności  $C_p$ . Powyżej wartości częstotliwości równej 150 Hz, aż do częstotliwości równej 3 kHz, pojemność  $C_p$  utrzymuje stałą wartość. Powyżej 3 kHz zauważyć można ponowny spadek wartości pojemności, jednak łagodniejszy niż w pierwszym analizowanym przedziale (rys. 6). Wraz ze zwiększaniem temperatury pomiarowej na stanowisku laboratoryjnym, wartości pojemności również osiągały większą wartość.

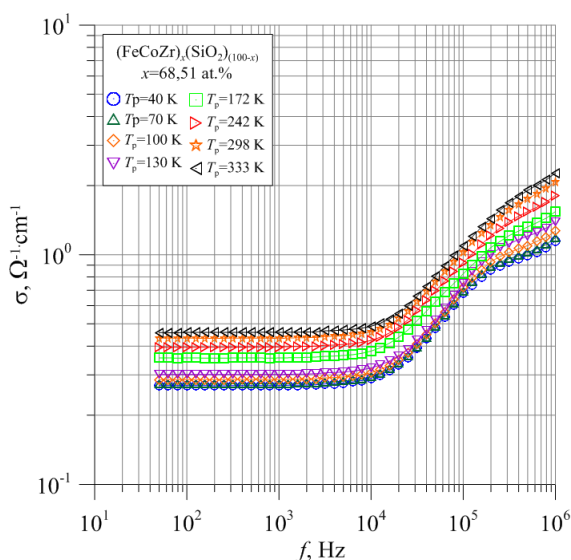


Rys. 5. Częstotliwościowa zależność kąta przesunięcia fazowego  $\theta$  dla próbki  $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$  o zawartości fazy metalicznej  $x_1 = 67,03$  at.%



Rys. 6. Częstotliwościowa zależność pojemności  $C_p$  dla próbki  $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$  o zawartości fazy metalicznej  $x_1 = 67,03$  at.%

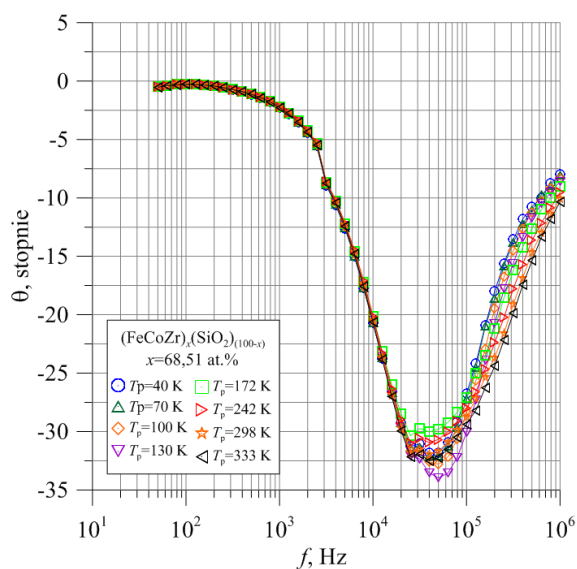
Konduktywność dla próbki nanokompozytu o zawartości fazy metalicznej  $x_2 = 68,51$  at.% w podobnym przedziale jak próbka  $x_1$  utrzymuje stałą wartość, jednak wzrost jej wartości od częstotliwości równej  $10^4$  Hz jest dużo szybszy (rys 7). W całym zakresie pomiarowym wartość konduktywności rośnie wraz ze wzrostem temperatury pomiarowej, co świadczy o przewodności dielektrycznej.



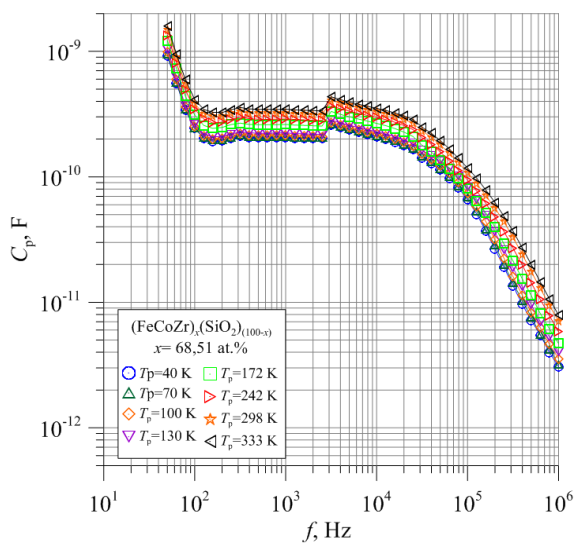
Rys. 7. Częstotliwościowa zależność konduktywności  $\sigma$  dla próbki  $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$  o zawartości fazy metalicznej  $x_2 = 68,51$  at.%

Kąt przesunięcia fazowego  $\theta$  dla tej próbki osiąga mniejsze wartości niż dla próbki  $x_1$  (rys. 8). W tym przypadku zawiera się w przedziale ok.  $0^\circ < \theta < -34^\circ$ , natomiast w próbce  $x_1$  był to przedział  $0^\circ < \theta < -16^\circ$ . Widzimy więc, że wartość ta jest prawie dwukrotnie większa. Występuje przesunięcie pojemnościowe oraz adekwatny wpływ temperatury na wartości kąta: w przedziale malejącego kąta  $\theta$  wpływ ten jest niewidoczny, a w przedziale gdzie kąt  $\theta$  gwałtownie zwiększa swoje wartości, im mniejsza temperatura  $T_p$  tym wartość kąta  $\theta$  jest większa.

Wartości pojemności  $C_p$  w funkcji częstotliwości można ująć w trzech przedziałach: malejących wartościach w przedziale od 50 do 150 Hz, następnie stałe wartości do ok. 3 kHz, a następnie spadek wartości. Zwiększenie zawartości fazy metalicznej spowodowało większe wartości pojemności  $C_p$ . Większe temperatury pomiarowe skutkowały otrzymywaniem większych wartości pojemności (rys. 9).

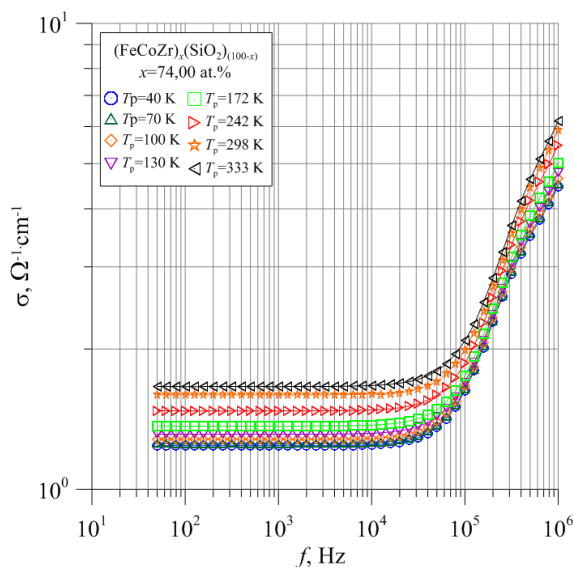


Rys. 8. Częstotliwościowa zależność kąta przesunięcia fazowego  $\theta$  dla próbki  $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$  o zawartości fazy metalicznej  $x_2 = 68,51$  at.%



Rys. 9. Częstotliwościowa zależność pojemności  $C_p$  dla próbki  $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$  o zawartości fazy metalicznej  $x_2 = 68,51$  at.%

Na rysunku 10 przedstawiona została częstotliwościowa zależność konduktywności  $\sigma$  dla próbki badanego nanokompozytu o zawartości fazy metalicznej  $x_3 = 74,00$  at. %.



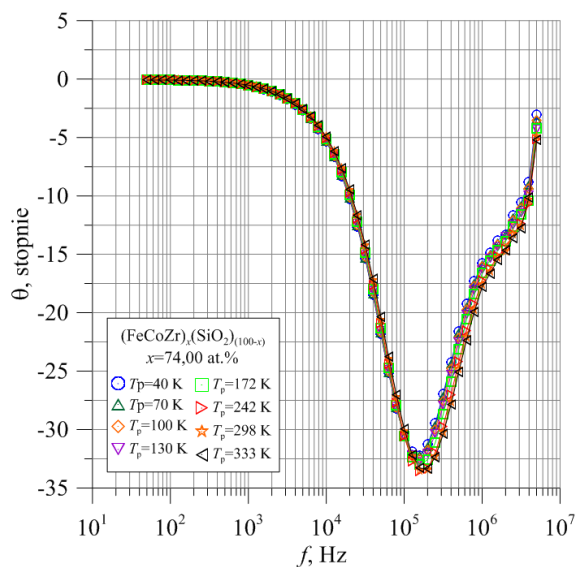
Rys. 10. Częstotliwościowa zależność konduktywności  $\sigma$  dla próbki  $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$  o zawartości fazy metalicznej  $x_3 = 74,00$  at. %

Na pierwszy rzut oka można stwierdzić, że analogicznie do wcześniejszych próbek mamy do czynienia z przewodzeniem dielektrycznym. W przedziale, gdzie  $\sigma = \text{constans}$ , jej wartości są większe od  $1 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ , gdzie dla próbek wcześniejszych wartości te były mniejsze od  $1 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ .

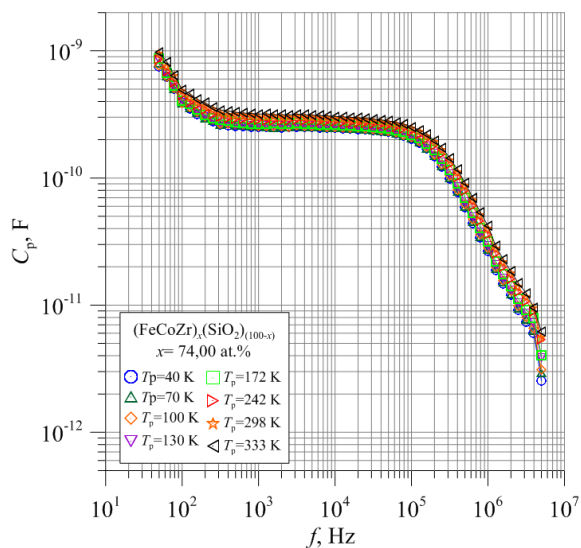
Kąt przesunięcia fazowego  $\theta$  jest ujemny w całym zakresie pomiarowym, a więc w tym przypadku występuje przesunięcie pojemnościowe. Wartości kąta  $\theta$  dla próbki  $x_3$  są zbliżone do wartości dla próbki  $x_2$ .

Wartości pojemności  $C_p$  dla nanokompozytu o zawartości fazy metalicznej  $x_3 = 74,00$  at. % dużo łagodniej zmieniają swoje wartości. Zauważyć można mniejszy wpływ temperatury na otrzymane wyniki pomiarów tej wielkości. Dla częstotliwości równej  $10^5$  Hz następuje gwałtowny spadek pojemności  $C_p$ , jak również gwałtowny wzrost konduktywności  $\sigma$  oraz kąta przesunięcia fazowego  $\theta$ .



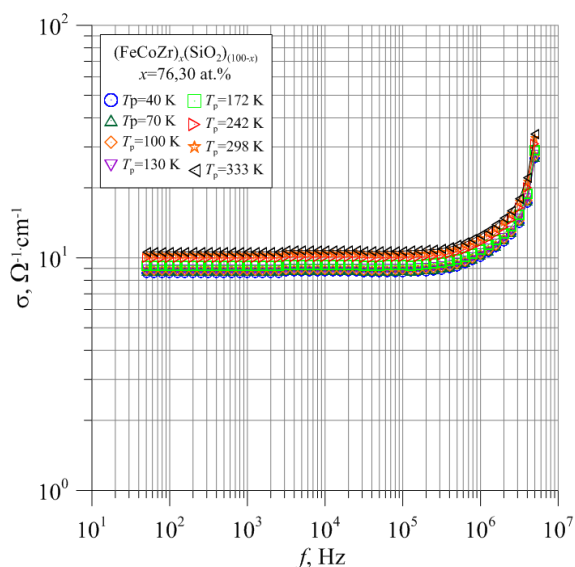


Rys. 11. Częstotliwościowa zależność kąta przesunięcia fazowego  $\theta$  dla próbki  $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$  o zawartości fazy metalicznej  $x_3 = 74,00$  at.%



Rys. 12. Częstotliwościowa zależność pojemności  $C_p$  dla próbki  $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$  o zawartości fazy metalicznej  $x_3 = 74,00$  at.%

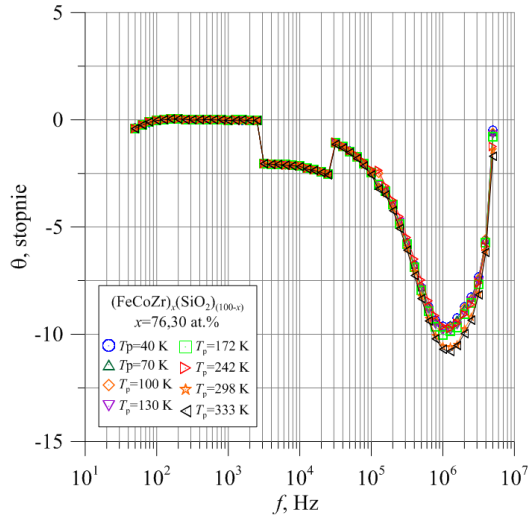
Kolejna próbka nanokompozytu  $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$  o zawartości fazy metalicznej  $x_4 = 76,30$  at.% wykazała dużo mniejszą podatność konduktywności na zmiany temperatur pomiarowych. Jej wartości jednak znacząco wzrosły w porównaniu do próbek wcześniejszych (rys. 13). Wciąż jednak mówimy o przewodzeniu typu dielektrycznego.



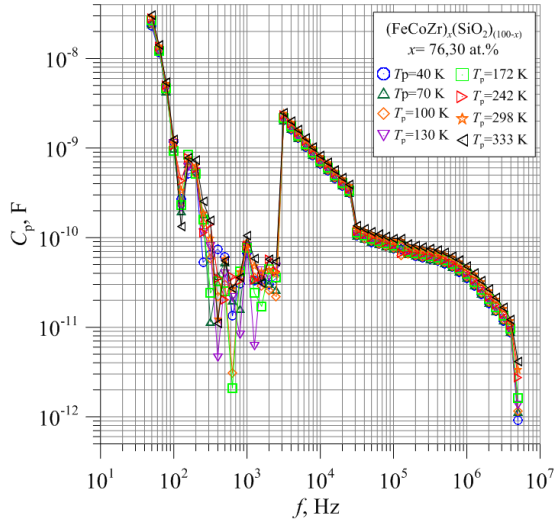
Rys. 13. Częstotliwościowa zależność konduktywności  $\sigma$  dla próbki  $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$  o zawartości fazy metalicznej  $x_4 = 76,30$  at.%

Częstotliwościowa zależność kąta przesunięcia fazowego  $\theta$  dla próbki  $x_4$  ukazuje nam znikomy wpływ temperatury na wartości tej wielkości. Minimum funkcji osiągnięte zostało dla około  $-11^\circ$  (rys. 14). Występuje przesunięcie typu pojemnościowego.

Interpretując wykres funkcji  $C_p = f(f)$ , zastanawiające mogą być gwałtownie zmieniające się wartości pojemności w przedziale częstotliwości od 50 do 3 kHz (rys. 15). Powodem takiego zachowania się wykresu jest błąd pomiaru kąta  $\theta$ . W rzeczywistości jego wartości oscylują wokół wartości równej zero. Każde przejście kąta  $\theta$  przez zero, skutkuje gwałtownym spadkiem wartości pojemności  $C_p$ . Takie zachowania charakterystyk mają rację bytu podczas interpretowania np. próbek tlenowych, gdzie przy przejściu wartości kąta  $\theta$  przez zero,  $C_p$  osiąga wartość odpowiadającą częstotliwości  $f_{\min}$ , dla której występuje rezonans napięć.

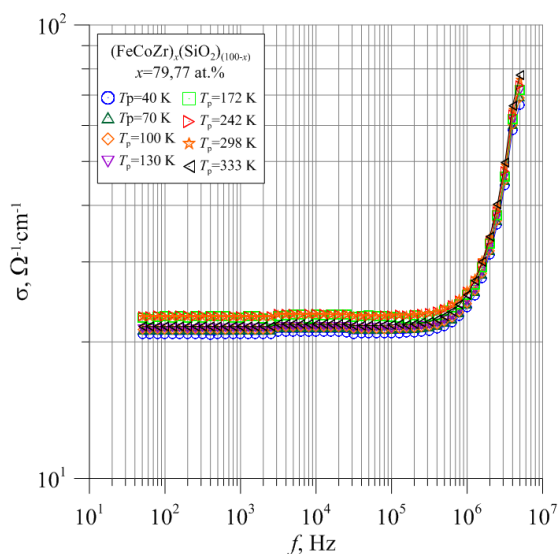


Rys. 14. Częstotliwościowa zależność kąta przesunięcia fazowego  $\theta$  dla próbek  $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$  o zawartości fazy metalicznej  $x_4 = 76,30$  at.%



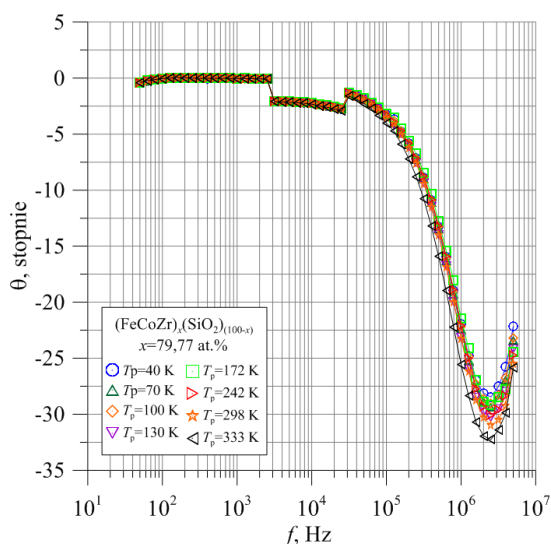
Rys. 15. Częstotliwościowa zależność pojemności  $C_p$  dla próbek  $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$  o zawartości fazy metalicznej  $x_4 = 76,30$  at.%

Analizując kolejną próbkę badanego nanokompozytu ( $x_5$ ) widzimy, że wartości konduktywności w zakresie częstotliwości od 50 Hz do ok. 2 MHz osiągają wartość ponad  $20 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ . Jest to wartość ponad dwukrotnie większa w porównaniu z próbką  $x_4$ . Widzimy co raz mniejszy wpływ temperatury  $T_p$  na otrzymane wartości  $\sigma$  (rys. 16).



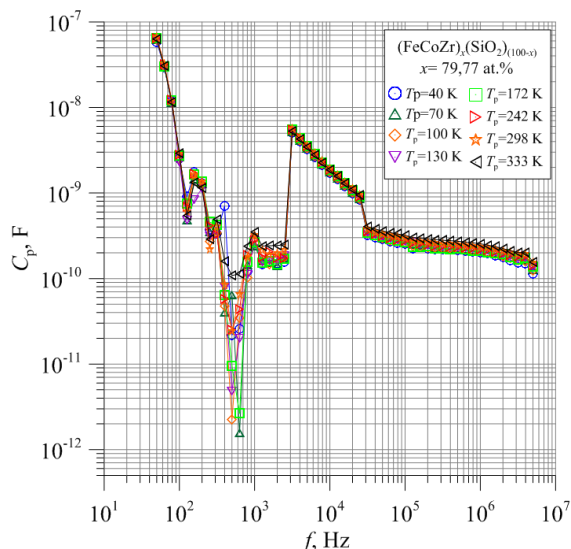
Rys. 16. Częstotliwościowa zależność konduktywności  $\sigma$  dla próbek  $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$  o zawartości fazy metalicznej  $x_5 = 79,77$  at.%

Kąt przesunięcia fazowego  $\theta$  swoją najniższą wartość osiągnął przy częstotliwości równej ok. 2,5 MHz. Wartość ta wyniosła ok.  $-33^\circ$  i otrzymana została dla najwyższej temperatury pomiarowej tj. 333 K (rys. 17). Również w tym przypadku mamy do czynienia z przesunięciem typu pojemnościowego.



Rys. 17. Częstotliwościowa zależność kąta przesunięcia fazowego  $\theta$  dla próbek  $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$  o zawartości fazy metalicznej  $x_5 = 79,77$  at.%

W przedziale częstotliwości od 50 Hz do ok. 2 kHz widzimy podobne oscylacje wartości pojemności  $C_p$ , które wynikają, tak jak w poprzedniej próbkę, ze zmian wartości kąta  $\theta$  w granicach  $0^\circ$ . Temperatura pomiarowa ma niewielki wpływ na otrzymane wartości pojemności (rys. 18).

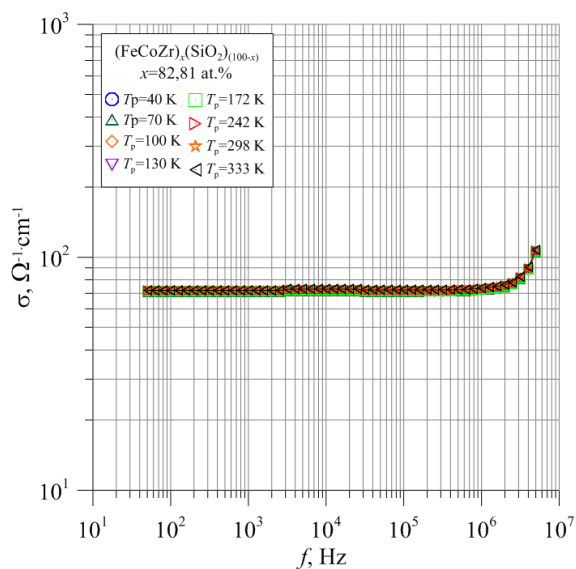


Rys. 18. Częstotliwościowa zależność pojemności  $C_p$  dla próbki  $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$  o zawartości fazy metalicznej  $x_5 = 79,77$  at.%

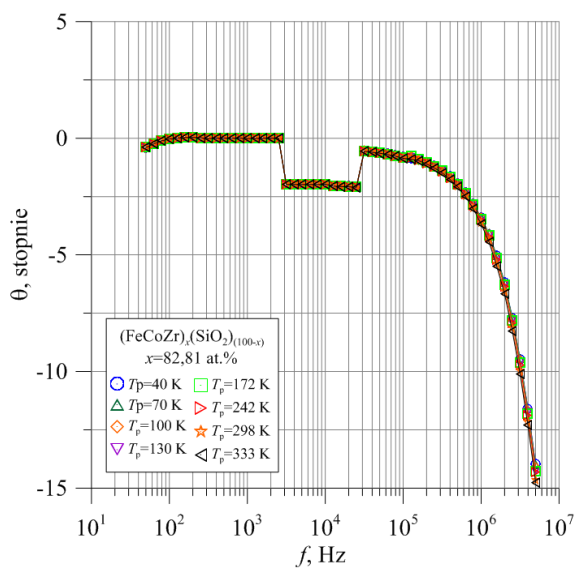
Ostatnia z przebadanych próbek posiadała zawartość fazy metalicznej na poziomie  $x_6 = 82,81$  at.%. Wpływ temperatury na wartości konduktywności jest niezauważalny (rys. 19). W zakresie częstotliwości pomiarowej od 50 Hz do ok. 2 MHz widoczne jest, że  $\sigma = \text{const.} = 70 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ .

Kąt przesunięcia fazowego dla całego zakresu częstotliwości jest mniejszy od zera (przesunięcie pojemnościowe). Jego minimum (ok.  $-15^\circ$ ) odpowiada maksimum konduktywności  $\sigma$ .

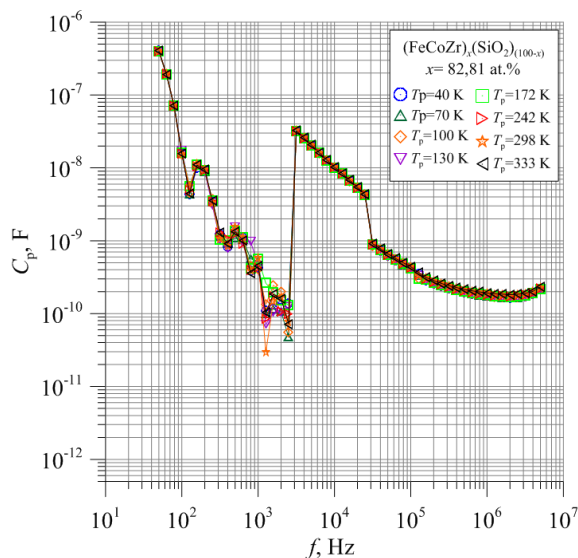
Pojemność  $C_p$  w stosunku do próbek  $x_4$  i  $x_5$  analogicznie zmieniała swoje wartości w sposób oscylacyjny w zakresie częstotliwości od 50 Hz do ok. 3 kHz. Dla większych wartości częstotliwości nastąpił delikatny spadek wartości pojemności. Przy częstotliwości  $f = 2$  MHz, wartości  $C_p$  nieznacznie zaczęły wzrastać.



Rys. 19. Częstotliwościowa zależność konduktywności  $\sigma$  dla próbki  $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$  o zawartości fazy metalicznej  $x_6 = 82,81 \text{ at.}\%$



Rys. 20. Częstotliwościowa zależność kąta przesunięcia fazowego  $\theta$  dla próbki  $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$  o zawartości fazy metalicznej  $x_6 = 82,81 \text{ at.}\%$



Rys. 21. Częstotliwościowa zależność pojemności  $C_p$  dla próbki  $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$  o zawartości fazy metalicznej  $x_6 = 82,81$  at.%

## 6. PODSUMOWANIE

Zbadano właściwości elektryczne nanokompozytów  $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$ , dla których zawartość fazy metalicznej zawierała się w przedziale 67,03 at.% – 82,81 at.% (wysoka zawartość).

Dla wszystkich sześciu przebadanych próbek nanokompozytów  $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$  wystąpiło przesunięcie fazowe typu pojemnościowego ( $-90 < \theta < 0$ ).

W zależności od zawartości fazy metalicznej nanokompozytów, wpływ temperatury na właściwości elektryczne próbek różnił się dla każdej z nich. Dla próbek  $x_1$ ,  $x_2$  oraz  $x_3$  wyraźnie zauważyć można wpływ temperatury pomiarowej na wartości konduktywności  $\sigma$  (im większa wartość temperatury, tym większa wartość konduktywności). Świadczy to o przewodzeniu dielektrycznym. Dla próbek  $x_4$  oraz  $x_5$  wpływ temperatury  $T_p$  na wartości konduktywności nie był już tak znaczący, natomiast dla próbki  $x_6$  wpływ ten był niewidoczny.

Rozpatrując częstotliwościowe zależności pojemności  $C_p$ , wyróżnić można zakresy częstotliwości, w których wartości pojemności dla określonych próbek zachowywały się analogicznie. W pierwszym przedziale gwałtownie malały, w kolejnym zaś utrzymywały stałą wartość, by następnie ponownie zmniejszać

swoje wartości, jednak łagodniej niż działa się to przy niższych częstotliwościach.

## LITERATURA

- [1] Kelsall R.W., Hamley I.W., *Nanotechnologie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008
- [2] Fedotova J.A., Kołtunowicz T.N., Zukowski P., *Transport ładunków i właściwości strukturalne wybranych nanokompozytów metal-dielektryk*, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2012
- [3] Beck R., *Technologia krzemowa*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1991
- [4] Simmons J.G., *Percolation crossing formulae and conformal field theory*, Journal of Applied Physics 34, 1963, p. 154–156
- [5] Lech M.K., *Pomiary i określenie właściwości elektrycznych nanokompozytów  $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$  o dużej zawartości fazy metalicznej wytworzonych w atmosferze czystego argonu*, Praca inżynierska, Lublin 2018
- [6] Kierczyński K., Kołtunowicz T.N., *Właściwości elektryczne nanokompozytów  $(\text{FeCoZr})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{(100-x)}$  wytworzonych rozpylaniem wiązką argonu i tlenu jako układy kondensatorowe*, „Informatyka, Automatyka, Pomiary w gospodarce i ochronie środowiska”, nr 2, 2015, s. 47–54
- [7] Kołtunowicz T.N., *Stanowisko do badania temperaturowych i częstotliwościowych zależności właściwości elektrofizycznych implantowanych półprzewodników*, „Elektronika – konstrukcje, technologie, zastosowania”, 48 n. 10, 2007, s. 37–40.



## **WSPOMAGANIE PROJEKTOWANIA LINII NISKICH NAPIĘĆ PRZY POMOCY PROGRAMU ENSTO DESIGNER SUITE**

### **1. WSTĘP**

Dynamiczny rozwój oprogramowania informatycznego doskonale widoczny jest na każdej płaszczyźnie, również w branży elektrycznej. Mamy do dyspozycji ogromną ilość programów, zarówno płatnych jak i darmowych, które mają zadanie ułatwić nam pracę.

Jednym z rodzajów takiego oprogramowania jest Ensto Designer Suite, narzędzie przeznaczone dla projektantów, którzy w swojej pracy spotykają się z problemem tworzenia odpowiednich tabel doboru osprzętu dla napowietrznych linii elektroenergetycznych [5]. Program oferuje nam m.in. możliwość generowania plików wyceny materiałów oraz wizualizacji prześła linii. Wszystko to w oparciu o najnowsze normy dotyczące projektowania.

W niniejszym referacie przedstawiono teoretyczne wiadomości dotyczące elektroenergetycznych linii napowietrznych oraz wykonano model prześła linii w programie Ensto Designer Suite.

### **2. WIADOMOŚCI PODSTAWOWE**

Linia napowietrzna jest to zbiór urządzeń, dzięki którym możliwe jest przesyłanie i rozdział energii elektrycznej przy pomocy przewodów przebiegających w środowisku jakim jest powietrze [1]. Przewody te dzięki izolatorom i odpowiedniemu osprzętowi, mogą być przymocowane do konstrukcji wsporczych. W przypadku elektroenergetycznych linii napowietrznych z przewodami gołymi, izolację stanowi powietrze. Zgodnie z wiadomościami znanymi z Techniki Wysokich Napięć, z powodu zjawisk, które występują w dielektrykach gazowych, w liniach z przewodami gołymi ogranicza nas wysokość napięcia.

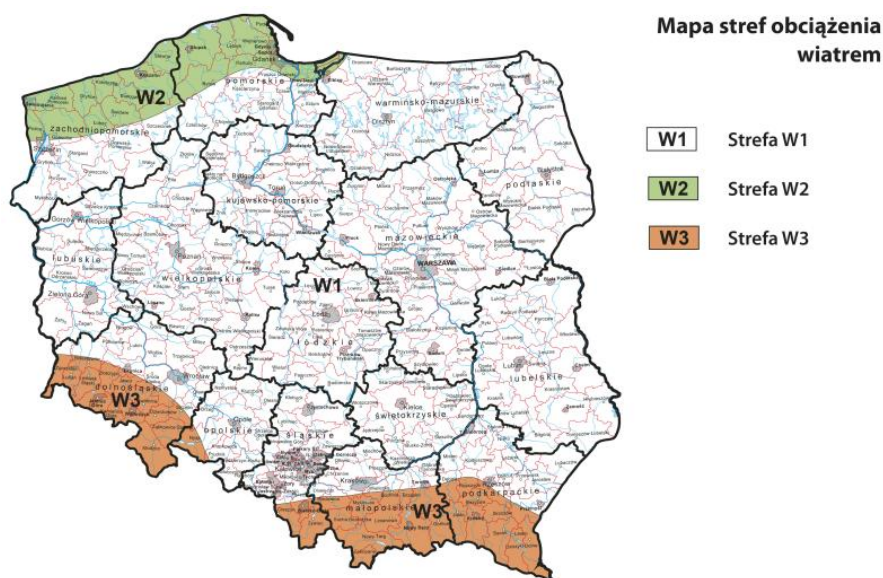
---

<sup>1</sup> Studenckie Koło Naukowe Stowarzyszenia Elektryków Polskich przy Politechnice Lubelskiej

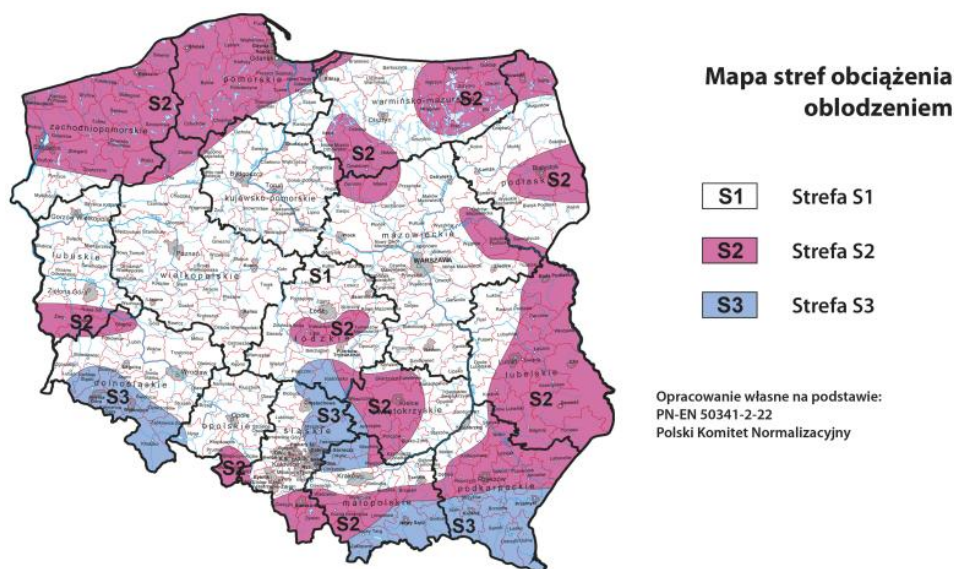
Projektując elektroenergetyczną linię napowietrzną, należy kierować się aktualnie obowiązującymi wymaganiami prawnymi. W Polsce jest to norma [PN-EN 50341], która określa podstawowe wymagania dla elektroenergetycznych linii napowietrznych. Odnosi się ona do wymagań niezawodności, pewności i bezpieczeństwa [1]. Niezawodność dotyczy funkcji jakie linia elektroenergetyczna spełnia dla określonych warunków. Należy tutaj wspomnieć o warunkach atmosferycznych, które występują na danym obszarze kraju. Wymagania pewności nawiązują do tzw. zjawiska kaskadowego, na które linia nie może być narażona. Z kolei wymagania bezpieczeństwa dotyczą braku zagrożenia utraty życia lub zdrowia podczas budowy i eksploatacji linii. Wśród projektantów popularnym pojęciem jest obliczeniowy okres użytkowania linii, który waha się od 30 do 80 lat. Jest to okres, w którym linia elektroenergetyczna powinna być użytkowana bez konieczności dokonywania dużych napraw.

Poruszając zagadnienia dotyczące projektowania napowietrznych linii elektroenergetycznych, nie sposób nie wspomnieć o warunkach klimatycznych terenów, przez które przebiega linia. Mowa o wietrze, różnego rodzaju opadach i ich parametrach. W związku z powyższym wyróżnić możemy dwie rodzaje stref zależne od warunków klimatycznych:

- strefy wiatrowe (obciążenia wiatrem) (rys. 1),
- strefy sadowe (obciążenia oblodzeniem) (rys. 2).



Rys. 1. Strefy obciążenia wiatrem [4]



*Rys. 2. Strefy obciążenia oblodzeniem [4]*

Projektant, który dobiera odpowiedni osprzęt dla linii napowietrznych, musi uwzględnić układy obciążeń, które związane są z naciągami przewodów. Układy te są zależne od stref obciążenia.

Część napowietrznej linii elektroenergetycznej zawarta pomiędzy sąsiednimi konstrukcjami wsporczymi nazywana jest przęsłem linii [2] (rys. 3). Rozpiętość przęsła jest to pozioma odległość między tymi konstrukcjami, natomiast zwis przewodu to odległość pionowa pomiędzy prostą łączącą punkty zawieszenia przewodu, a przewodem. Po zastosowaniu pewnych uproszczeń, zwis przewodu można obliczyć korzystając ze wzoru [6]:

$$f = \frac{a^2 g}{8\sigma} \quad (1)$$

gdzie:

$f$  – zwis przewodu;

$a$  – rozpiętość przęsła;

$g$  – ciężar jednostkowy przewodu;

$\sigma$  – naprężenie przewodu w najniższym punkcie.

Istnieje również możliwość obliczenia odległości pionowej przewodu od punkty zawieszenia w dowolnym miejscu przęsła [6]:

$$f_x = \frac{4fx(a-g)}{a^2} \quad (2)$$

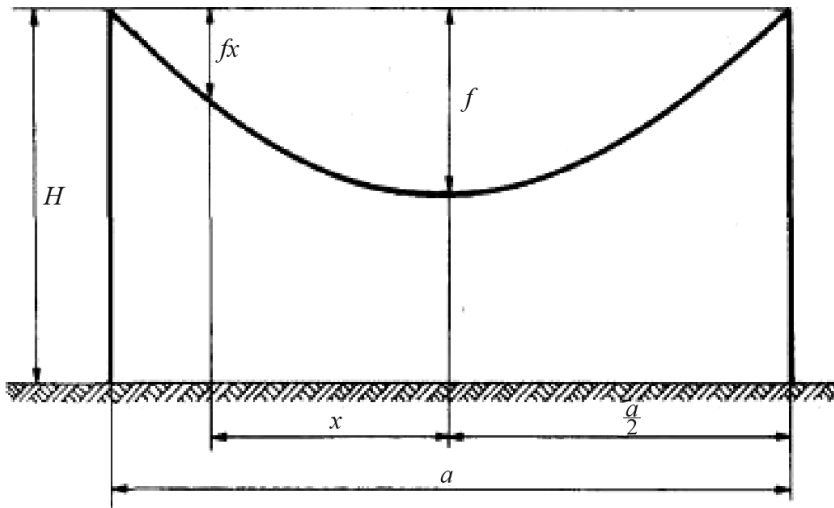
gdzie:

$f$  – zwis przewodu;

$a$  – rozpiętość przęsła;

$g$  – ciężar jednostkowy przewodu;

$x$  – odległość od punktu zawieszenia.



Rys. 3. Model przęsła linii napowietrznej [1]

Nieodłącznym elementem napowietrznych linii elektroenergetycznych są słupy. W zależności od ich funkcji, możemy je podzielić następująco [1]:

- słupy przelotowe – ustawiane są na w liniach prostych i na załomach nie większych niż  $5^\circ$ , przejmują niewielkie wartości naciągów [3] (rys. 4),
- słupy narożne – ustawiane są na pewnych wartościach kąta załomu, w związku z powyższym przejmują wypadkowe wartości naciągu,
- słupy odporowe – ustawiane są w liniach prostych i na załomach nie większych niż  $5^\circ$ , zmniejszają zakłócenia mechaniczne oraz przejmują siły naciągu,
- słupy krańcowe – ustawiane są zwykle na końcach napowietrznych linii elektroenergetycznych, przejmują naciąg jednostronnie,

- słupy rozgałęźne – ustawiane w miejscach, gdzie występuje rozgałęzienie linii.

Wymienione wyżej rodzaje słupów mogą łączyć swoje funkcje i występować jako słupy np. odporowo-narożne, rozgałęźno-przelotowo-krańcowe (czyli takie, które dla linii głównej pełnią funkcję słupów przelotowych, a dla odgałęzień są słupami krańcowymi) itp.



*Rys. 4. Słup przelotowy [7]*

Jeżeli chodzi o materiały, z których aktualnie korzysta się przy budowie słupów, wyróżnić należy beton i stal. Drewno odeszło w niepamięć, jednak takie słupy można jeszcze sporadycznie spotkać w terenie. Żerdzie betonowe dzielą się głównie na dwa rodzaje [2]:

- żelbetonowe (z wibrującymi formami),
- strunobetonowe (z betonu sprężonego).

Słupy strunobetonowe są bardziej wytrzymałe od słupów żelbetonowych. Stosowane aktualnie żerdzie żelbetonowe mają oznaczenia ŻN i ŻW, natomiast strunobetonowe BSW oraz E (wirowane). Wymienione słupy stosowane są do linii niskich i średnich napięć. Słupy metalowe to konstrukcje wsporcze prze-

znaczone głównie dla linii o napięciach nie mniejszych niż 110 kV, aczkolwiek sporadycznie są wykorzystywane w liniach średnich napięć.

### 3. PROJEKT PRZESŁA W PROGRAMIE ENSTO DESIGNER SUITE

Pierwszym krokiem podczas projektowania z wykorzystaniem programu Ensto Designer Suite jest określenie początkowych parametrów projektu (rys. 5). Wybieramy w tym miejscu m.in. odpowiednie strefy obciążeniowe, wysokość n.p.m. oraz przyjmowany zapas przewodu.

**Ustawienia projektu**

Projekt  
Linia niskiego napięcia wg normy PN-EN 50341

Przyjmowany zapas przewodu [%]: 4

Napężenie [MPa]: 60

Sposób wykonywania mostków linii nN: ☐ Łączone zaciskami ☒ Bez zacisków

Strefa obciążenia oblodzeniem: S2 ?

Strefa obciążenia wiatrem: W1 ?

Strefa wysokości n.p.m.: <= 600

Domyślny katalog projektu:  
C:\ProgramData\ED5\Projekty

Anuluj Akceptuj

Rys. 5. Ustawienia początkowe

Dalszy etap projektu obejmuje określenie konkretnych danych dotyczących projektowanej linii elektroenergetycznej (rys. 6). Wybrano słup krańcowy wirowany o wysokości 10,5 m., który umieszczony będzie na wysokości

144 m. n.p.m. Odległość do kolejnego projektowanego słupa wynosić będzie 40 m. Określono również typ ustaju, uziomu oraz rodzaj ogranicznika przepięć. Na słupie znajdować się będzie dodatkowo oprawa oświetleniowa oraz odejście kablowe, które zabezpieczone będzie rozłącznikiem bezpiecznikowym.

Numer słupa: 1 Rzędna terenu [m]: 144 ☒ Słup projektowany ☐ Stanowisko niestandardowe

Typ zerdzi: E Funkcja słupa: K Kąt załomu: 159°

Długość przęsła od poprzedniego słupa: 40 m Zapas: 2 m

Długość przęsła do następnego słupa: 0 m Maksymalna długość przęsła LO: 0 m

Rodzaje przewodów LG: ☐ Zmiana przekroju

Rodzaje przewodów LO: ☐ Zmiana przekroju

I 4x35 Brak II 2x25 Brak III Brak IV Brak

Maksymalny zwis przewodu LG: -2.5 Maksymalny zwis przewodu LO: 0

Kąt LO względem LG: 90° 270°

Przyłącza

| Lp | Projekt. | Napow. | Przewód/Kabel | Długość [m] | Wyc. rezerwy nośności [%] | Dodaj | Usuń | Edytuj |
|----|----------|--------|---------------|-------------|---------------------------|-------|------|--------|
|    |          |        |               |             |                           |       |      |        |
|    |          |        |               |             |                           |       |      |        |
|    |          |        |               |             |                           |       |      |        |
|    |          |        |               |             |                           |       |      |        |

Oświetlenie uliczne ☒ Typ oprawy: Oprawa 1

Wyrzutowość słupa [kN]: 15 Wartość należy wskazać w oparciu o obliczenia i zasady doboru opisane w normie PN-EN 50341.

Długość zerdzi: 10.5

Rodzaj gruntu: Średni

Typ ustaju: UB2

Typ uziomu: TP 1x3 ☐ Dołącz zestaw do zakładania uziemicy

Ogranicznik przepięć ☒ Odgaślenie ☒ Linia izolowana Napięcie [kV]: 0.50 Prąd [kA]: 5 Producent: Agator ☒ Wskaźnik uszkodzenia

Rozłącznik bezpiecznikowy: ☐ Różne typy dla poszczególnych torów Tor I 160A Ilość biegunów: 3 Tor II 160A Ilość biegunów: 1 Tor dolny 160A Ilość biegunów: 1

Kabel: Tor I: 4x240 Tor II: Brak Tor dolny: Brak

Odsiew zestaw. Anuluj Akceptuj

**Zestawienie słupa**

| Element                                 | Typ        | Jedn. | Ilość | Edycja pozycji |
|-----------------------------------------|------------|-------|-------|----------------|
| <b>Typ zerdzi:</b>                      |            |       |       |                |
| Zerdzi strunobetonowa wirowana          | E-10.5/15  | szt.  | 1     | Zmień ?        |
| <b>Rodzaje przewodów:</b>               |            |       |       |                |
| Przewód AsXSn                           | 2x25mm2    | m.    | 48.7  | Zmień ?        |
| Przewód AsXSn                           | 4x35mm2    | m.    | 48.7  | Zmień ?        |
| <b>Ustoje:</b>                          |            |       |       |                |
| Beton                                   | C12/15     | m3    | 1.029 | Zmień ?        |
| Płyta stopowa                           | 0.5 x 0.5m | szt.  | 1     | Zmień ?        |
| <b>Uzbrojenie:</b>                      |            |       |       |                |
| Hak wieszakowy (Tor I)                  | SOT 21.16  | szt.  | 1     | Zmień ?        |
| Hak wieszakowy (Tor II)                 | SOT 21.16  | szt.  | 1     | Zmień ?        |
| Oślonka końcówki przewodu               | PK 99.025  | szt.  | 2     | Zmień ?        |
| Oślonka końcówki przewodu               | PK 99.050  | szt.  | 4     | Zmień ?        |
| Poprzecznik                             | PI-1       | szt.  | 1     | Zmień ?        |
| Śruba z nakrętką, podkładką kwadratową  | M20x400    | szt.  | 1     | Zmień ?        |
| Uchwyt dystansowy                       | SO 79.6    | szt.  | 2     | Zmień ?        |
| Uchwyt odciągowy (Tor I)                | SO 274S    | szt.  | 1     | Zmień ?        |
| Uchwyt odciągowy (Tor II)               | SO 274.25  | szt.  | 1     | Zmień ?        |
| <b>Typ uziomu:</b>                      |            |       |       |                |
| Bednarka stalowa-oc. (na słupie)        | 25x4mm     | m.    | 7.5   | Zmień ?        |
| Bednarka stalowa-oc. (pod ziemią)       | 25x4mm     | m.    | 9     | Zmień ?        |
| Kłamek                                  | COT 36     | szt.  | 8     | Zmień ?        |
| Śruba oc. z nakrętką, podkładką okrągłą | M10x25     | szt.  | 2     | Zmień ?        |
| <b>Dodatkowe elementy zestawienia</b>   |            |       |       |                |
| Dodaj Usuń Edytuj                       |            |       |       |                |

Rys. 6. Określanie parametrów linii oraz słupa końcowego

Aby wygenerować model projektowanego przęsła, należy w programie dodać kolejny słup i adekwatnie do wcześniejszego, określić parametry (rys. 7). W tym przypadku jest to słup narożny wirowany o kącie załomu równym 159° i takiej samej wysokości jak słup poprzedni. Wysokość, na której będzie wybudowany to 146 m. n.p.m. W tym przypadku nie zastosowano uziemienia, a tym samym ogranicznika przepięć. Ze słupa nie będzie realizowane odejście kablem elektroenergetycznym, natomiast również zastosowano oprawę oświetleniową.

Analizując okno programu podczas zmieniania parametrów linii, zauważyć można, że po zmianie jakiegokolwiek parametru, na bieżąco aktualizuje się osprzęt w zestawieniu słupa. Jest to wygodna opcja, ponieważ projektant na bieżąco widzi jakie elementy osprzętu ulegają zmianie podczas manipulowania parametrami linii.



**Parametry słupa**

Numer słupa: 2 Rzędna terenu [m]: 146 ☒ Słup projektowany ☐ Stanowisko niestandardowe

Typ zerdzi: E Funkcja słupa: N Kąt załomu: 159 ☐ Złom

Długość przęsła od poprzedniego słupa: 40 Zapas: 2 m 4 %

Długość przęsła do następnego słupa: 40 Maksymalna długość przęsła LO: 0

Rodzaje przewodów LG ☐ Zmiana przekroju

I 4x35 -> Brak -> Brak

II 2x25 -> Brak -> Brak

III Brak -> Brak -> Brak

IV Brak -> Brak -> Brak

Rodzaje przewodów LO

Maksymalny zwis przewodu LG: ~2.5 Maksymalny zwis przewodu LO:

Kąt LO względem LG: 90° 270°

**Przyłącza**

| Lp | Projekt | Napow. | Przewód/Kabel | Długość [m] | Wyk. rezerwy nośności [%] |
|----|---------|--------|---------------|-------------|---------------------------|
|    |         |        |               |             |                           |

**Oświetlenie uliczne** ☒ Typ oprawy: Oprawa 1 ☒ Wskaznik uszkodzenia

Wytrzymałość słupa [kN]: 10 Wartość należy wskazać w oparciu o obliczenia i zasady doboru opisane w normie PN-EN 50341.

Długość zerdzi: 10.5

Rodzaj gruntu: Średni

Typ ustoju: UB2

Typ uziumu: Brak ☐ Dołącz zestaw do zakładania uziemiaczy

**Zestawienie słupa**

| Element                               | Typ                 | Jedn.          | Ilość | Edycja pozycji |
|---------------------------------------|---------------------|----------------|-------|----------------|
| <b>Typ zerdzi:</b>                    |                     |                |       |                |
| Zerdź strunobetonowa wirovana         | E-10.5/10           | szt.           | 1     | Zmień ?        |
| <b>Rodzaje przewodów:</b>             |                     |                |       |                |
| Przewód AeXSn                         | 2x25mm <sup>2</sup> | m.             | 42    | Zmień ?        |
| Przewód AeXSn                         | 4x35mm <sup>2</sup> | m.             | 42    | Zmień ?        |
| <b>Ustoje:</b>                        |                     |                |       |                |
| Beton                                 | C12/15              | m <sup>3</sup> | 0.933 | Zmień ?        |
| Płyta stopowa                         | 0.5 x 0.5 m         | szt.           | 1     | Zmień ?        |
| <b>Uzbrojenie:</b>                    |                     |                |       |                |
| Hak nakrętkowy (Tor I)                | PD 2.2              | szt.           | 1     | Zmień ?        |
| Hak wieszakowy dystansowy (Tor II)    | PD 3.2              | szt.           | 1     | Zmień ?        |
| Śruba dwustronna                      | SOT 4.7             | szt.           | 1     | Zmień ?        |
| Uchwyt narozny (Tor I)                | SO 270              | szt.           | 1     | Zmień ?        |
| Uchwyt narozny (Tor II)               | SO 130              | szt.           | 1     | Zmień ?        |
| <b>Oświetlenie uliczne:</b>           |                     |                |       |                |
| Konstrukcja mocująca wysięgnik oprawy | KWO-2               | szt.           | 2     | Zmień ?        |
| Objeńka                               | OW-2                | szt.           | 2     | Zmień ?        |
| Opaska                                | PER 15              | szt.           | 2     | Zmień ?        |
| Oprawa bezpiecznikowa                 | SV 29.255           | szt.           | 1     | Zmień ?        |
| Przewód izolowany                     | ALYd 16m...         | m.             | 1     | Zmień ?        |
| Przewód izolowany                     | DYd 2.5m...         | m.             | 3     | Zmień ?        |
| Typ oprawy: Oprawa 1                  |                     | szt.           | 1     | Zmień ?        |
| Wkładka trójkątna                     | 25A                 | szt.           | 1     | Zmień ?        |

**Dodatkowe elementy zestawienia**

☐ Ogranicznik przepięć ☐ Odgątlenie ☒ Linia izolowana

Napięcie [kV]: 0.50 Prąd [kV]: 5 Producent: Aparator ☒ Wskaznik uszkodzenia

**Rozłącznik bezpiecznikowy:** ☐ Różne typy dla poszczególnych torów

Tor I 160A Ilość biegunów: 1

Tor II 160A Ilość biegunów: 1

Tor dolny 160A Ilość biegunów: 1

**Kabel:** Tor I: Brak Tor II: Brak Tor dolny: Brak

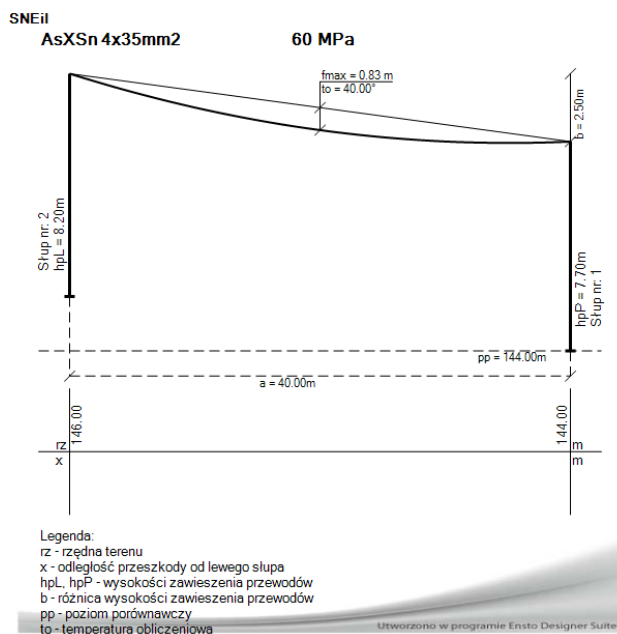
Rys. 7. Określanie parametrów linii oraz słupa narożnego

Kiedy mamy skonkretyzowane parametry linii oraz dwóch słupów, możemy uzyskać model przęsła (rys. 8). Projektant może w jednym miejscu zobaczyć wszystkie parametry związane z projektowaną linią, takie jak rzędne słupów, rozpiętość przęsła, zwis itp. Program dokładnie wylicza te wartości, uwzględniając część słupa zakopaną w ziemi, wysokość zamontowania haków i zwraca nam dokładną wartość, na której zawieszony będzie nasz przewód.

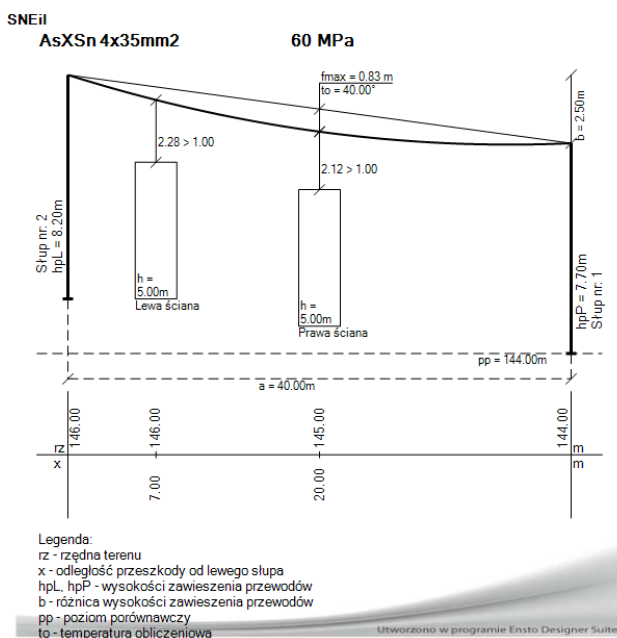
Kolejną wartą uwagi opcją programu Ensto Designer Suite jest dodanie przeszkody. Może to być droga, linia kolejowa, budynek itp. W tym celu należy określić dokładne wartości takie jak np. wysokość budynku, umiejscowienie ścian czy odległość od przeszkody jaką chcemy zachować. Program umieści przeszkodę w odpowiednim miejscu w modelu przęsła i wygeneruje informację czy narzucona przez nas odległość jest zachowana (rys. 9).

Po zwiększeniu wysokości prawej ściany budynku, zauważyć można, że program wyświetla informację, która mówi o niespełnionym warunku odległości linii od przeszkody.

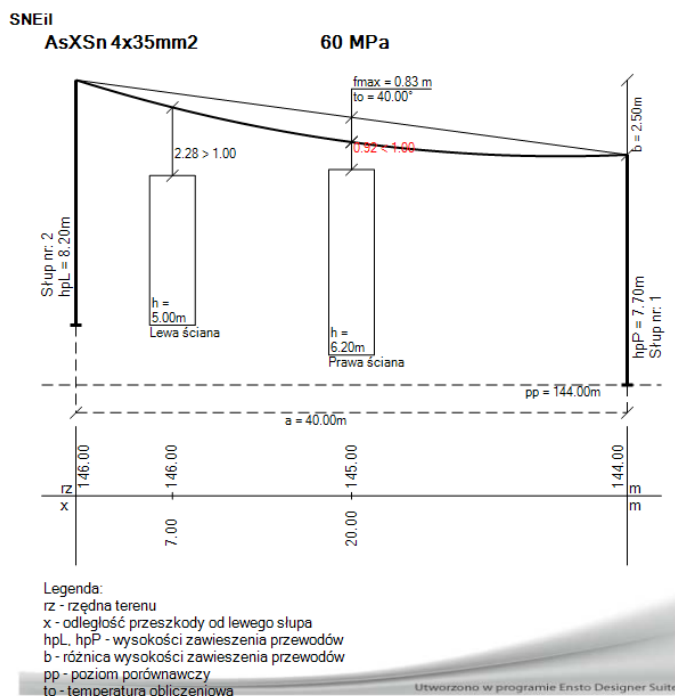




Rys. 8. Model przęsla napowietrznej linii elektroenergetycznej uzyskany w programie Ensto Designer Suite



Rys. 9. Model przęsla napowietrznej linii elektroenergetycznej wraz z dodaną przeszkodą w postaci budynku



Rys. 10. Model przęsla napowietrznej linii elektroenergetycznej wraz z dodaną przeszkodą w postaci budynku przy niezachowanej odległości między linią, a budynkiem

## 4. PODSUMOWANIE

Oprócz wyżej wymienionych funkcji, program Ensto Designer Suite oferuje nam wiele innych udogodnień podczas projektowania. Mamy możliwość wygenerowania całościowej tabeli montażowej, którą możemy załączyć do projektu, możemy dodawać zdjęcia, mapy, schematy jednokreskowe oraz pliki PDF związane z naszym projektem. Jest to duże ułatwienie, dzięki któremu projektowanie może przebiegać dużo sprawniej. Warto jednak pamiętać, że nie należy ufać bezgranicznie programowi komputerowemu i końcowe rysunki oraz wyniki dobrze porównać z katalogami branżowymi oraz z własnymi obliczeniami.

Oprogramowanie Ensto Designer Suite to narzędzie przeznaczone nie tylko dla projektantów. Wyróżnia się ono bezpłatną możliwością użytkowania, a więc jest to doskonała metoda nauki dla studentów wydziałów elektrycznych uczelni technicznych.

## LITERATURA

- [1] Hudym V., Jagiełło A., *Zasady projektowania i eksploatacji elektroenergetycznych linii napowietrznych*, Podręcznik dla studentów kierunków Elektrotechnika i Energetyka, Wydawnictwo PK, Kraków 2016
- [2] *Poradnik inżyniera elektryka Tom III*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1997
- [3] Kahl T., *Zasady projektowania sieci elektroenergetycznych niskich i średnich napięć*, Państwowe Wydawnictwa Techniczne, Warszawa 1954
- [4] *Linie napowietrzne wielotorowe niskiego napięcia z przewodami izolowanymi samonośnymi AsXS i AsXSn na żerdziach wirowanych*: katalog, ENSTO, Poznań 2016
- [5] <http://www.izolowane.pl/> (dostęp: 15.06.2018)
- [6] <http://www.bezel.com.pl/> (dostęp: 15.06.2018)
- [7] <http://www.ise.pl/> (dostęp: 05.04.2018)

## **POMIARY BIOIMPEDANCJI ELEKTRYCZNEJ I ICH ZNACZENIE DLA ZDROWIA CZŁOWIEKA**

### **1. TECHNIKA BADAŃ METODĄ BIOIMPEDANCJI ELEKTRYCZNEJ W ŚRODOWISKU PŁYNÓW USTROJOWYCH CZŁOWIEKA**

Analiza bioimpedancyjna jest nieinwazyjną, tanią i powszechnie wykorzystywaną metodą do pomiarów składu ciała człowieka i oceny podstawowych parametrów życiowych na podstawie otrzymanych wyników. Obecnie wykorzystuje się wiele sposobów do pomiarów i w zależności od potrzeb możemy w różnoraki sposób analizować i przetwarzać otrzymane wyniki. Wykonujemy pomiary przy zadanej częstotliwości przepływającego prądu o niewielkim natężeniu i w czasie rzeczywistym widzimy ci dzieje się w naszym organizmie. Na wyniki ma wpływ wiele różnych czynników, począwszy od wieku, płci, wzrostu, stanu zdrowia, kończąc na artefaktach związanych z samymi elektrodami. Istotne jest również wcześniejsze przygotowanie się do badania, a w szczególności brak większego wysiłku fizycznego przed samym badaniem, czy zrezygnowanie z obfitego posiłku.

#### **1.1. PODSTAWY TEORETYCZNE**

Metoda BIA (Bioelectrical impedance analysis) oparta jest na różnicy w przewodzeniu prądu elektrycznego w przestrzeni wodnej i tłuszczowej. Zarówno tkanka tłuszczowa, jak i woda zewnątrzkomórkowa (ECW) nie wykazują reaktancji, czyli oporu pojemnościowego  $X_c$ , gdyż nie zachowują się jak kondensatory. Te elementy wykazują czynny opór elektryczny – rezystancję  $R$ . Reaktancja pojawia się na błonie komórkowej tkanek o wysokiej zawartości wody. Działają one jak kondensatory złożone z dwóch okładek – mamy wtedy przewodzące prąd fragmenty hydrofilowe fosfolipidów skierowane na zewnątrz i do wewnątrz komórki oraz warstwy dielektryczne – nieprzewodzące prądu fragmenty lipofilowe skierowane do wewnątrz błony komórkowej[1]. Rezystancja powoduje spadek napięcia. Reaktancja wpływa głównie na przesunięcie fazowe

---

<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Inżynieria biomedyczna

przyłożonego prądu zmiennego. Jest to przedstawiane wektorowo przez kąt fazowy, który jest równy  $\phi = \arctan \frac{X_c}{R}$  i znajduje się w przedziale od  $-90^\circ$  do  $0^\circ$ . Kąt fazowy przyjmuje tylko i wyłącznie wartości z tego przedziału, gdyż w połączeniu szeregowym reaktancja jest wektorem prostopadłym do rezystancji, a impedancja jest ich sumą wektorową o wartości wyznaczonej według wzoru 1. Mamy informację, że w miarę wzrostu częstotliwość prądu i spadku reaktancji, rosną także kąt fazowy i rezystancja. Wielkości takiego typu opór właściwy ciała człowieka i jego pojemność elektryczna, wyznaczamy na podstawie danych statystycznych dla danej populacji, pochodzenia, wieku, aktywności fizycznej, płci czy stanu zdrowia.

## 1.2. PODSTAWY ELEKTRYCZNE

Wielkość oporu elektrycznego – rezystancji  $R$  – dla jednolitego ciała jest wprost proporcjonalna do jego długości  $L$  i oporu właściwego  $\rho$  oraz odwrotnie proporcjonalna do jego powierzchni przekroju poprzecznego  $A$ . Impedancja  $Z$  natomiast jest odwrotnie proporcjonalna do częstotliwości prądu i pojemności elektrycznej układu. W połączeniu szeregowym dla impedancji mamy postać równania (1), gdzie wszystkie zmienne liczy się w omach, a w połączeniu równoległym równanie ma postać (2):

$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2} \quad (1)$$

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_c^2}}} \quad (2)$$

Pomiar impedancji bioelektrycznej wykonujemy mając przyjęte, że w badanym układzie występują wyłącznie połączenia szeregowe. Oczywiście jest to tylko założeniem, ponieważ w organizmie występują zarówno obwody w połączeniu szeregowym oraz równoległym. Stosujemy matematyczne przekształcenie połączenia szeregowego na równoległe, co daje nam wzór na impedancję bioelektryczną ciała:

$$Z = \frac{X_c R}{\sqrt{X_c^2 + R^2}} \quad (3)$$

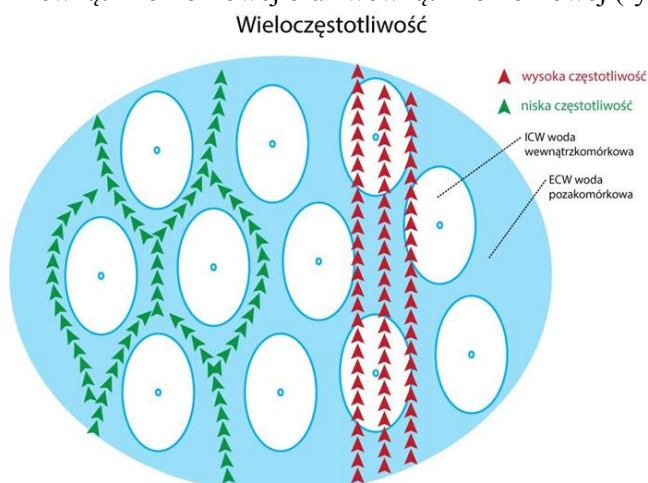
W uproszczeniu otrzymujemy, że impedancja bioelektryczna ciała to miara połączonego oporu i przesunięcia fazowego prądu, który przepływa przez nasze ciało. Określamy tak zwaną wielkośći zawady (przeszkody) jaką nasze ciało stanowi dla przepływającego prądu elektrycznego [7]. Oczywiście nie jest ono jednolitym walcem, a jego oporność i pojemność elektryczna są parametrami

zmiennymi. Problem ten można wyeliminować, wyobrażając sobie, że poszczególne tkanki mają charakterystyczne właściwości w obrębie przewodzenia elektrycznego, a istotne znaczenie w przewodnictwie prądu ma woda razem z rozpuszczonymi w niej elektrolitami. Stosujemy również różnorakie przekształcenia matematyczne.

### 1.3. ZAŁOŻENIA DO POMIARÓW

Założenie, że ciało człowieka jest sumą jednakowych cylindrów oraz prąd przepływa przez przestrzeń zewnątrzkomórkową i wewnątrzkomórkową daje nam możliwość zastosowania przedstawionej metody do pomiaru całkowitej wody ustroju TBW. Pomiar TBW przy użyciu jednej częstotliwości prądu – 50 kHz nie daje nam możliwości prawidłowego rozróżnienia przedziałów wewnątrzkomórkowych i zewnątrzkomórkowych. Zakładamy więc, że prąd zmienny o niskiej częstotliwości przenika przestrzeń zewnątrzkomórkową. Używano z początku prądu zmiennego o częstotliwości 1 kHz oraz wysokiej częstotliwości – 100 kHz do oszacowania osobno objętości wody zewnątrzkomórkowej i wewnątrzkomórkowej.

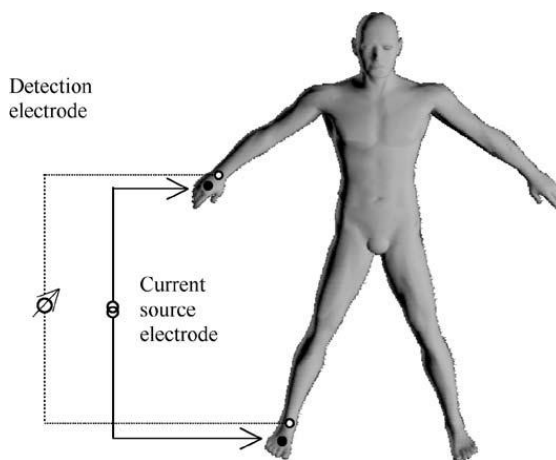
Teraz stosujemy najczęściej wieloczęstotliwościową metodę bioimpedancji elektrycznej przy wykorzystaniu zakresu częstotliwości między 5 a 500 kHz. Przy niskich częstotliwościach prądu (< 10 kHz) błona komórkowa ma właściwości izolatora i uniemożliwia przenikanie prądu elektrycznego do wnętrza komórki. Prąd o wysokich częstotliwościach przenika błonę komórkową, dociera do przestrzeni zewnątrzkomórkowej oraz wewnątrzkomórkowej (rysunek 1) [7].



Rys. 1. Schemat przenikania prądu przez przestrzeń zewnątrz i wewnątrzkomórkową dla różnych częstotliwości [12]

#### 1.4. KOMBINACJE POŁĄCZEŃ ELEKTROD

Urządzenia pomiarowe BIA dzielimy ze względu na liczbę elektrod, a także na używane częstotliwości. Stosujemy się połączenia dwu-, cztero-, ośmioelektrodowe [11]. Używa się elektrod powierzchniowych, przy różnych wariantach konfiguracji elektrod. Standardowo stosujemy połączenia noga–noga, noga–ręka, ręka–ręka. Najczęściej używanym systemem jest tetrapolarny – według rysunku (rysunek 2)



Rys. 2. Standardowe połączenie elektrod dla pomiarów metodą SF-BIA oraz MF-BIA [7]

w układzie przeciwnym, którym dwie elektrody umieszcza się w okolicach nadgarstka/przedramienia osoby poddanej badaniom, a dwie pozostałe okolicę kostki nogi (rysunek 2). Ważnym elementem w badaniu BIA jest używana częstotliwość prądu. Przy częstotliwościach niskich lub zbliżonych do zera prąd nie przechodzi przez barierę błony komórkowej. Błona zachowuje się wtedy jak izolator. Natomiast przy bardzo wysokich częstotliwościach błona komórkowa zachowuje się jak idealny kondensator i wtedy całościowa rezystancja ciała obrazuje nam objętość wody wewnątrz- oraz zewnątrzkomórkowej. Uważamy, że dla częstotliwości 50 kHz, (najczęściej używanej w urządzeniach BIA o jednej częstotliwości prądu), prąd przechodzi przez płyn wewnątrz-, jak i zewnątrzkomórkowy. Uzyskujemy wtedy średnią ważoną ich rezystancji [11]. Ta z kolei ma kluczowe znaczenie dla badania metodą BIA, gdyż reaktancja stanowi około 10% uzyskanej przez nas impedancji. Mamy dwa powszechnie stosowane aparaty BIA – SF-BIA (single – frequency) i MF-BIA (multiple – frequency). W aparacie typu SF-BIA stosujemy się tylko jedną częstotliwość, a w aparacie

typu MF-BIA – wiele różnych częstotliwości [2, 3, 4]. Szczególnie przydatne w ocenie składu ciała u osób zdrowych jest badanie z użyciem jednej częstotliwości, podczas gdy drugie pomiary dają nam dokładniejszą analizę zmian składu ciała w organizmie pacjentów w okresie pooperacyjnym lub borykających się problemami zdrowotnymi czy wyniszczeniem organizmu. W aparatach typu SF-BIA używamy częstotliwości 50 kHz stosując natężenie prądu rzędu 0,8–1 mA, natomiast w aparatach MF-BIA stosujemy zakres częstotliwości 0–500 kHz, ale największą powtarzalność wyników obserwujemy przedziale 5–200 kHz. Do diagnostyki dietetycznej stosujemy jedną częstotliwość w układzie tetrapolarnym przy pomiarach całego ciała. Nie mierzymy pojedynczego segmentu, na przykład kończyny górnej, dolnej – to znajduje zastosowanie w diagnostyce chorób czy zwyrodnień narządów, stawów, m.in. w kardiografii impedancyjnej, w ocenie wielkości urazów, obrzęków, diagnostyce cukrzycy [15], czy chorób tarczycy.

### **1.5. ODCZYTYWANIE WYNIKÓW I PRZYGOTOWANIE STANOWISKA POMIAROWEGO**

Do badań dla celów naukowych popularnością cieszą się aparaty oparte na systemie czteroelektrodowym. Podczas przygotowania do badania pacjent przyjmuje pozycję leżącą na czas około 5-10 minut, dlatego że impedancja znacznie wzrasta w czasie 10 minut od chwili przyjęcia przez badanego pozycji leżącej. Następnie stopniowo wzrasta, ale w wolniejszym tempie, przez kolejne 4 godziny. Kończyny powinny być ułożone luźno pod kątem 30°-45° do tułowia, ponieważ ich skrzyżowanie zaburza wynik – obniża impedancję. Dla osób otyłych lub takich, które nie mogą ułożyć nóg czy rąk w prawidłowej pozycji, stosujemy materiał izolacyjny, który oddziela kończyny od siebie i od tułowia. Elektrody są pokryte folią lub mają formę punktową. Umieszczamy je na skórze delikatnie, w celu zapewnienia prawidłowego przewodzenia elektrycznego. Przed przymocowaniem elektrod, przemywamy skórę alkoholem lub płynem dezynfekcyjnym w celu pozbycia się zanieczyszczeń i zabrudzeń w miejscu ich przymocowania [8]. W układzie czteroelektrodowym elektrody umieszczone są na linii środkowej grzbietowej powierzchni rąk i stop. Przesunięcie elektrod tylko o 1 cm może dać zmianę rezystancji około 2%. Musimy pamiętać także, że ramię stanowi około 4% masy całego ciała, ale jego wpływ na pomiar całkowitej rezystancji wynosi 45%. Określamy w badaniu stałe miejsca umieszczania elektrod pomiarowych, w celu zapobiegnięcia niepożądanych zmian w wynikach. Istotne jest dokładne zmierzenie wzrostu osoby badanej i masy ciała. Błąd



2,5 cm przy pomiarze wysokości ciała może spowodować wystąpienie zmian wyniku TBW nawet o 1 litr, a pożądana dokładność wynosi 0,5 cm. Masę ciała mierzymy z dokładnością do 0,1 kg, dlatego że błąd 1 kg daje błąd odczytu TBW o 0,2 litra. Dobrze, aby biżuteria była zdjęta do badania. Także inne metalowe przedmioty, czy elementy garderoby powinny być zdjęte w celu uzyskania miarodajnego wyniku przepływu prądu przez organizm [1, 2, 3, 4].

### 1.6 WYNIKI ODCZYTANE Z POMIARÓW URZĄDZENIEM BIA. WYKORZYSTANIE ICH W DIAGNOSTYCE MEDYCZNEJ



Rys. 3. Przedziały kompozycji ciała [12]

Skład ciała badany metodą BIA daje informację o kluczowym znaczeniu proporcję mięśni do tłuszczu, gdyż pomiar techniką czteroelektrodową przy stałej częstotliwości równej 50 kHz dostarcza wiedzy na temat wody zewnątrzkomórkowej oraz jej stosunku do całkowitej zawartości wody w organizmie. Uzyskujemy wiedzę na temat zmian w zawartości wody wewnątrzkomórkowej, czyli ostatecznie o masie komórkowej organizmu. Ma to zasadnicze znaczenie, ponieważ na beztłuszczową masę ciała FFM (Fat Free Mass) składają się właśnie TBW, BCM oraz w niewielkim stopniu mineralizacja kości, a resztę masy ciała stanowi tkanka tłuszczowa FM (rysunek 3) [5, 11].

Rozpatrując wpływ hormonu wzrostu na skład ciała, możemy stwierdzić iż powoduje on charakterystyczne zaburzenia polegające na zmniejszeniu FFM i objętości ECW (Extra Cellular Water) z jednoczesnym zwiększeniem ilości tkanki tłuszczowej (przede wszystkim trzewnej). Masa ciała generalnie nie ulega

zmianie. Substytucja GH (Growth Hormone) powoduje zmniejszenie zawartości FM, z równoczesną jej redystrybucją z depozytów w obrębie jamy brzusznej do depozytów podskórnych oraz zwiększenie zawartości FFM (głównie masy mięśniowej). U chorych na akromegalię obserwuje się obniżoną zawartość FM, wzrost ilości FFM i TBW. Po wyleczeniu wzrasta masa tłuszczowa oraz % zawartość tkanki tłuszczowej [16].

Przy chorobach tarczycy i zaburzeniach metabolicznych mamy zależność zmian wielkości tarczycy od składu ciała i wartości BMI oraz FFM.

Nie stwierdzono zaś zależności wielkości tarczycy od masy tkanki tłuszczowej. Ponadto wartość obwodowej FFM jest podstawowym wyznacznikiem wielkości dawki substytucyjnej tyroksyny u chorych na niedoczynność tarczycy.

Osoba z zaburzeniami metabolicznymi takimi jak insulino oporność, w początkowej fazie choroby traci prawie wyłącznie wodę z masy swojego ciała. Dlatego indywidualna i dokładna ocena parametrów masy tłuszczowej jest tak istotna dla prawidłowej diagnozy [16].

Analizując przyczyny wyniszczenia organizmu, które znacząco wpływa na wyniki pomiarów składu ciała, mamy dane statystyczne, na podstawie których aż 40 % pacjentów chorych na raka na całym świecie jest niedożywionych.

U ponad 22 % pacjentów z nowotworem, wyniszczenie jest natychmiastową przyczyną śmierci. Dokładny pomiar składu ciała pomaga rozpoznać stany wyniszczenia. Poprzez kontynuację pomiarów podczas terapii można określić stan odżywienia pacjenta oraz w razie potrzeby dopasować go w celu eliminacji efektów choroby [12].

Dokładne medyczne oszacowanie całkowitej wody w organizmie i wewnątrz- i pozakomórkowej ma zasadnicze znaczenie w nefrologii dla lepszej weryfikacji masy samego ciała. Rozkład cieczy pomaga w wykrywaniu obrzęków i jest często stosowany w kardiologii, pulmonologii i nefrologii u pacjentów ze schorzeniami wątroby [16], którzy zazwyczaj potrzebują także porad żywieniowych. Precyzyjne określenie wody w organizmie przyczynia się do śledzenia utraty masy ciała od momentu rozpoczęcia diety. Redukcja wody powinna być obserwowana zwłaszcza u pacjentów z opornością na insulinę, w kardiologii i medycynie ogólnej [14].

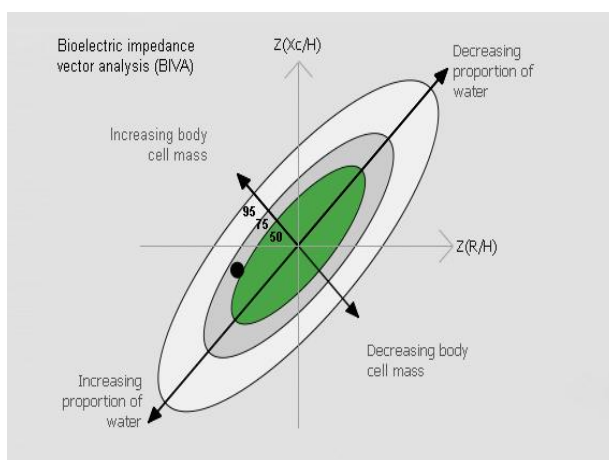
Kolejną dziedziną, która chętnie i coraz częściej korzysta z zastosowań badań metodą bioimpedancji elektrycznej jest medycyna sportowa. Jest to ważny obszar zastosowania analizy i kontroli masy tłuszczowej, ponieważ tutaj kluczowy jest nadzór stanu kondycji pacjenta, programów treningowych i rehabilitacyjnych (rysunek 4).



Rys. 4. Masa mięśniowa w poszczególnych segmentach ciała [11]

## 1.7 ANALIZA WEKTOROWA

Wektorowa analiza bioelektrycznej impedancji (BIVA) zapewnia jednocześnie informacje na temat zawartości wody i kąta fazowego (wartość dla metabolizmu). Ponadto BIVA dostarcza informacji na temat stanu odżywiania oraz innych cennych informacji dotyczących ciężaru pacjentów w diabetologii [15], onkologii i psychologii (leczenie anoreksji i bulimii) [8].



Rys. 5. Przedstawienie na wykresie zawartości wody i masy komórkowej metodą BIVA – obszar zielony to optymalne wartości [11]

Miara integralności błony komórkowej pozwala na ocenę stanu komórki i ogólnej kondycji organizmu (rysunek 5). Wartość kąta fazowego odnosi się do zawartości żywych komórek w ciele badanego. Przy diagnozowaniu osób będących po ciężkich operacjach, złamaniach i kontuzjach, przebytych wyniszczających chorobach, takich jak m.in. choroby nowotworowe, anoreksja, kacheksja czy sarkopenia analizujemy wykres składu ciała (rysunek 7) [9].

Bardzo niskie wartości kąta fazowego, mogą być informacją o złej kondycji zdrowotnej oraz niewystarczającym odżywieniu pacjenta. Kąt fazowy jest skorelowany ze stanem metabolicznym danego człowieka. Przy ustalonej wartości kąta fazowego można ewidentnie stwierdzić ciężkość wykrytej choroby szczególnie w onkologii, nefrologii i kardiologii, a także przy HIV. U zdrowych, młodych ludzi o niskiej wartości kąta fazowego zaleca się dodatkową diagnostykę (badania krwi).

Kąt fazowy jest ważnym wskaźnikiem zarówno w ogólnej praktyce rutynowych kontroli oraz w medycynie sportowej. Ponieważ niski kąt fazowy często pojawia się w kontekście niedożywienia, jest ważnym wskaźnikiem przy anoreksji lub bulimii w psychologii i generalnie w medycynie odżywczej [8].

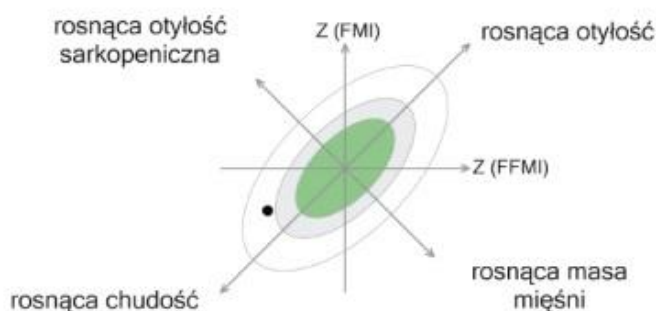
Analiza impedancji bioelektrycznej metodą wektorową (BIVA), pozwala na otrzymanie graficznej ilustracji oporu elektrycznego ludzkiego ciała, w układzie współrzędnych, przedstawionych za pomocą tzw. elips tolerancji (rysunek 5).

|           |                                       |                   |                                                                                      |
|-----------|---------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| $\varphi$ | Phase angle (50 kHz)                  | 6,6 °             |  |
| VAT       | Visceral fat                          | 2,7 l             |                                                                                      |
| BIVA      | Bioelectric impedance vector analysis | 52,9 Ω<br>455,6 Ω |   |
| FMI       | Fat mass index                        | 5,9 kg/m²         |   |
| FFMI      | Fat-free mass index                   | 22,6 kg/m²        |                                                                                      |

Rys. 6. Parametry otrzymane z pomiarów aparatem BIA – kąt fazowy, tkanka wisceralna tłuszczowa, parametry BIVA, zawartość masy tłuszczowej i beztłuszczowej na kg masy ciała [11]

Według nich, ocenić można np. stan równowagi gospodarki wodnej oraz masę komórkową, a co za tym idzie, dokładny stan zdrowia pacjenta i możliwość ustalenia odpowiedniego leczenia (np. włączenie leków diuretycznych, przy zwiększonym zatrzymywaniu wody pozakomórkowej) (rysunek 6).

Analizator jest niezastąpiony w ocenie ryzyka kardiometabolicznego [13] oraz w diagnostyce i terapii chorób związanych z zawartością tkanki tłuszczowej, takich jak: otyłość, patologiczne wychudzenie, chroniczny brak energii, jak również nadciśnienie i choroba niedokrwienna serca.



Rys. 7. Wykres składu ciała otrzymany w badaniu - z wykresu odczytujemy, że u badanej osoby mamy małą zawartość tkanki mięśniowej i tym samym rosnącą chudość, grożącą wyniszczeniem [10]

## 2. WNIOSKI

- Badanie BIA pozwala na określenie beztłuszczowej masy ciała oraz całkowitej wody w organizmie.
- Zmiany masy komórkowej, wody zewnątrzkomórkowej oraz wewnątrzkomórkowej są spowodowane różnymi czynnikami, tj. aktywność fizyczna, choroby, przyjmowane leki, odżywienie organizmu.
- Wyniki badań możemy wykorzystać w wielu dziedzinach nauki czy medycyny. Mogą one posłużyć do dostosowania diety, dawki leku, czy całego procesu leczenia danego pacjenta.
- Dzięki nieinwazyjności i bezpieczeństwu możemy wykonywać takie badania praktycznie u każdej osoby, bez żadnych powikłań.
- Zastosowanie na szeroką skalę badań i ich wyników może pozwolić na zaoszczędzenie czasu przy diagnozowaniu i dobieraniu odpowiedniego leczenia dla pacjentów.

## LITERATURA

- [1] Grimnes S., Martinsen Ø.G., *Bioimpedance and bioelectricity basic*, Academic Press, 30th March 2000
- [2] Deurenberg P, Deurenberg-Yap M, Schouten F.J., *Validity of total and segmental impedance measurements for prediction of body composition across ethnic population groups*, "Eur J Clin Nutr", 2002, 56(3), p. 214–220
- [3] Kushner R., *Bioelectrical Impedance Analysis: A Review of Principles and Applications*, "Journal of the College of Nutrition", 1992, 11(2), 199–209
- [4] Lewitt A., Mądro E., Krupienicz A., *Podstawy teoretyczne i zastosowania analizy impedancji bioelektrycznej (BIA)*, „Endokrynologia, Otyłość, Zaburzenia Przemiany Materii”, 2007, tom 3, nr. 4, s. 79–84
- [5] Lukaski H.C., Bolonchuk W.W., Hall C.B., Siders W.A., *Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition*, "J Appl Physiol", 1986, 60(4), p. 1327–1332
- [6] Dixon C., LoVallo S., Andreacci J., Goss F., *The effect of acute fluid consumption on measures of impedance and percent body fat using leg-to-leg bioelectrical impedance analysis*, "Eur J Clin Nutr", 2006, 60(1), p. 142–146
- [7] Małecka-Massalska T., Zubrzycki J., *Technika bioimpedancji elektrycznej w ocenie stanu nawodnienia* (materiały wykładowe)
- [8] Opis produktu: Seca mBCA 515, <https://vitako.pl/produkt/seca-515-mbca-z-instalacja-i-szkoleniem-medyczny-analizator-skladu-ciala-z-oprogramowaniem-seca-analytics-115-35.html> (dostęp: 29.03.2018)
- [9] *Parametry składu ciała: Zalety wyników seca mBCA w zarysie*, [https://mbca.seca.com/pl\\_pl/wyniki-pomiaru.html](https://mbca.seca.com/pl_pl/wyniki-pomiaru.html) (dostęp: 29.03.2018)
- [10] *Pomiar składu ciała – metodą BIA*, <http://activeandbeauty.com/pomiar-skladu-ciala-metoda-bia>, (dostęp: 29.03.2018)
- [11] *Urządzenia mierzące BIA*, <http://www.medkonsulting.com/index.php/component/content/article/3-newsflash/42-jak-zmierzyc-tkanke-tluszczowa>, (dostęp: 29.03.2018)
- [12] *Medycyna żywienia*, [https://mbca.seca.com/pl\\_pl/obszary-zastosowania/medycyna-zywienia.html](https://mbca.seca.com/pl_pl/obszary-zastosowania/medycyna-zywienia.html) (dostęp: 29.03.2018)
- [13] Czech A., Bernas M., Tatoń J., *Sercowo-naczyniowe objawy otyłości*, „Endokrynologia, Otyłość i Zaburzenia Przemiany Materii”, 2007, tom 3, nr. 4, s. 85–94
- [14] [https://mbca.seca.com/pl\\_pl/wyniki-pomiaru.html](https://mbca.seca.com/pl_pl/wyniki-pomiaru.html) (dostęp: 29.03.2018)
- [15] Scheen A.J., Lefébvre P.J., *Leczenie chorych na cukrzyce z nadwagą*, „Diabetologia praktyczna”, 2000, tom 1, nr 1, s. 33–50
- [16] Bolanowski M., Zadrozna-Śliwka B., Zatońska K., *Badanie składu ciała— metody i możliwości zastosowania w zaburzeniach hormonalnych*, „Endokrynologia, Otyłość i Zaburzenia Przemiany Materii”, 2005, tom 1, nr 1, s. 20–25

## ROBOT MOBILNY DO TWORZENIA MAPY POMIESZCZENIA

### 1. WSTĘP

Jednym z celów współczesnej robotyki jest projektowanie i budowanie urządzeń, które będą samodzielnie odnajdować się w przestrzeni oraz jednocześnie będą w stanie narysować mapę otoczenia, w którym się znajdują. Obraz otaczającej przestrzeni jest tworzony na podstawie odczytów z posiadanych przez robota czujników [1]. Rozwiązanie to nazywane jest Symultaniczną Lokalizacją i Mapowaniem (ang. SLAM – Simultaneous Localization and Mapping). Jest to dyscyplina łącząca w sobie mechatronikę, robotykę, sensorykę oraz cyfrowe przetwarzanie sygnałów. Umożliwia ona zwiększenie autonomii urządzeń. Roboty, które powstały w ostatnich latach umieją wykonywać mapy, ale często są one zniekształcone, pokazują nieistniejące przeszkody lub też są trudne do interpretacji. Głównymi przyczynami tego zjawiska są błędy odczytów z czujników oraz problem związany z niepewnością rzeczywistego położenia urządzenia w przestrzeni. Pierwszą z nich kompensuje się przy pomocy stosowania większej ilości czujników oraz różnych ich typów, drugą zaś – posługując się obliczeniami z zakresu rachunku prawdopodobieństwa. Zafałszowane pomiary eliminuje się metodą najmniejszych kwadratów, a szumy z czujników są redukowane za pomocą Rozszerzonego Filtru Kalmana (ang. EKF – Extended Kalman Filter) [2].

Pomimo istniejących niedoskonałości w tworzeniu map, urządzenia wykorzystujące SLAM mają już zastosowanie w życiu codziennym. Można je spotkać w wojsku w postaci robotów zwiadowczych. Można też już spotkać w niektórych miejscach roboty policyjne, które patrolują miejsca publiczne. Są też wykorzystywane do niebezpiecznych czynności, które mogłyby narażać ludzkie życie. Istnieją też rozwiązania stosowane w gospodarstwach domowych takie jak roboty odkurzające lub koszące trawę. Obecnie najbardziej dynamicznie rozwijającym się zastosowaniem SLAM są pojazdy autonomiczne.

---

<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, Koło Naukowe „SEMICON”

## 2. CEL I ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE

A Ważnym elementem każdego projektu jest sprecyzowanie sposobu działania urządzenia oraz jak zamierza się to osiągnąć. W tym przypadku istotne okazało się również zdefiniowanie wyglądu mapy.

Celem niniejszego projektu było zaprojektowanie i wykonanie robota mobilnego przeznaczonego do skanowania oraz rysowania mapy badanego pomieszczenia bazującego na platformie Arduino.

Zostały poczynione następujące założenia projektowe:

- robot wykonuje mapy niewielkich pomieszczeń;
- rysowana przez niego mapa jest dwuwymiarowym widokiem z góry;
- jest to zbiór punktów na płaszczyźnie kartezjańskiej;
- urządzenie porusza się w środowisku statycznym - żadne obiekty znajdujące się w pomieszczeniu nie mogą być w ruchu, jedynym wyjątkiem od tej reguły jest sam robot.

## 3. ZASADA DZIAŁANIA

Układem z mikrokontrolerem posiadanym przez projektowane urządzenie jest Arduino, które jest odpowiedzialne za sterowanie robotem, odczytywanie danych pomiarowych z czujników oraz komunikację z komputerem w celu utworzenia mapy na podstawie otrzymanych danych. Pomiarów odległości są wykonywane przy pomocy czujnika ultradźwiękowego, a za odczyt współrzędnych robota odpowiada magnetometr. Jako że czujnik ultradźwiękowy znajduje się na serwomechanizmie, uzyskiwane są dane w postaci kąta oraz odległości i są to współrzędne biegunowe. Z kolei magnetometr odczytuje dane w postaci współrzędnych kartezjańskich. W takim stanie porównywanie danych do siebie jest niemożliwe. W celu ujednolicenia współrzędnych obydwu typów stosowany jest następujący układ równań:

$$\begin{cases} p = x + r \cos \alpha \\ q = y + r \sin \alpha \end{cases} \quad (1)$$

gdzie:

$x$  – współrzędna  $x$  robota, odczytana za pomocą magnetometru;

$y$  – współrzędna  $y$  robota, odczytana za pomocą magnetometru;

$r$  – odległość od przeszkody, odczytana przez czujnik ultradźwiękowy;

$\alpha$  – kąt ustawienia serwomechanizmu.

Następnie punktom na płaszczyźnie są przypisywane odpowiednie współrzędne. Pierwsze trzy pomiary stanowią odległości dla kątów  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  oraz  $180^\circ$  w poło-



zeniu początkowym robota, dla którego są przyjęte wartości  $x=0$  i  $y=0$ . Kolejne pomiary mają takie same wartości kątów, ale inne współrzędne. W danym położeniu robota wykonywane są trzy pomiary odległości dla innych kątów każdy. Przyjęte wartości kątów pomiarów nie mogą mieć wartości przyjmowanych przez kąty ostre, co wynika z zasady działania czujnika ultradźwiękowego. W przeciwnym przypadku jest duże prawdopodobieństwo zafałszowania pomiaru lub dojść do zjawisk odbicia zwierciadlanego lub skrócenia perspektywy. W pierwszym przypadku sygnał nie wraca do czujnika, w drugim zaś dochodzi do nieprawidłowego odczytu odległości i położenia przeszkody [3].

Za narysowanie mapy odpowiada program napisany w środowisku Processing. Jest on odpowiedzialny za ujednolicenie otrzymanych współrzędnych oraz narysowanie mapy na ich podstawie. Przesyłanie danych między robotem, a komputerem odbywa się za pomocą kabla USB.

W czasie pracy robot przemieszcza się o wartość swojej długości do przodu, o ile nie spotka zbyt bliskiej przeszkody na swojej drodze. W takiej sytuacji wykonuje skręt w prawo lub w lewo. Pojedyncza sekwencja pomiarowa składa się z przejechania do przodu, zatrzymanie się i wykonania trzech pomiarów odległości dla różnych kątów serwomechanizmu.

## **4. PROJEKT I WYKONANIE URZĄDZENIA**

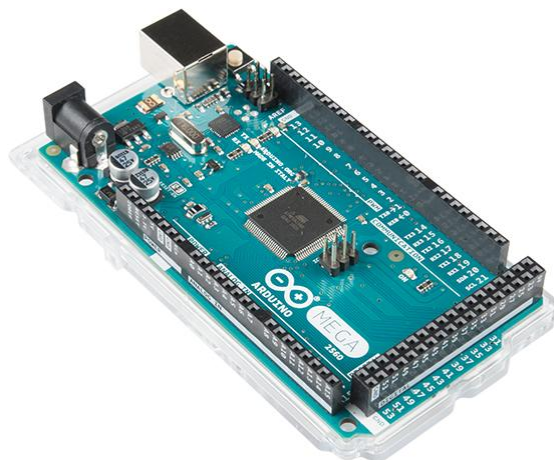
Najważniejszą częścią całego projektu była realizacja modelu rzeczywistego robota. Był to złożony proces, który stanowiło kilka czynności. Zaprojektowanie i wykonanie składało się z:

- doboru czujników oraz elementów elektronicznych;
- zaprojektowania i wykonania konstrukcji mechanicznej;
- napisania odpowiednich programów niezbędnych do działania urządzenia.

### **4.1. UKŁAD ELEKTRONICZNY I CZUJNIKI**

Bardzo istotne jest dobranie odpowiednich podzespołów elektronicznych. Płytką z mikrokontrolerem została dobrana mocniejsza niż było to konieczne, aby umożliwić dodawanie nowych modułów do robota w przyszłości. W tym celu wykorzystano płytkę Arduino Mega 2560. Jest to najmocniejszy dostępny typ, mający mikrokontroler o najsilniejszej konfiguracji, jakim jest ATmega 2560. Ta płytką umożliwia podłączenie wielu różnych czujników oraz zawiera w sobie największą liczbę pinów ze wszystkich typów dostępnych na rynku.

Posiada 54 wejścia/ wyjścia cyfrowe, gdzie 15 z nich można wykorzystać do modulacji PWM oraz 16 analogowych [4].



*Rys. 1. Płytko Arduino Mega 2560 [5]*

Kolejną zaletą tej platformy jest niska cena, łatwa dostępność oraz praktycznie nieograniczone możliwości przy wykonywaniu projektów elektronicznych [6].

Za pomiary odległości odpowiada ultradźwiękowy czujnik odległości HC-SR04, mający zasięg 2-200 cm. Jego zasada działania opiera się na emisji sygnału w postaci ultradźwięków przez nadajnik, odbicie się owego sygnału od przeszkody oraz powrót do odbiornika [7]. Ten moduł znajduje się na serwo-mechanizmie TowerPro SG-90, którego funkcją jest zwiększenie pola widzenia czujnika odległości. Ponadto, po bokach robota znajdują się dwa takie same czujniki. Ich zadaniem jest sprawdzać czy robot znajduje się przy ścianie czy też nie. Ma to ułatwić samolokalizację robota oraz poprawić jakość tworzonych map.

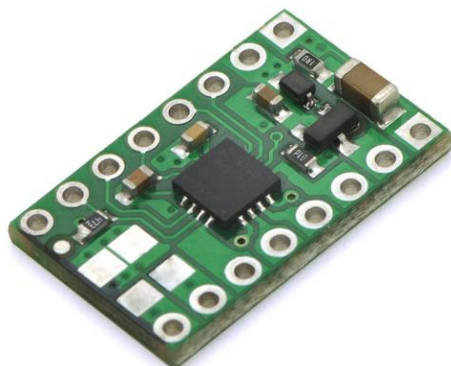
Kolejnym elementem jest magnetometr, który odczytuje współrzędne kartezjańskie położenia robota. Do tego zadania został wybrany czujnik GY-271, który bazuje na chipie HMC588L [8].

### **4.2. CZĘŚĆ NAPĘDOWA**

Część napędową robota stanowią dwa silniki DC z przekładniami zwiększającymi prędkość obrotową (multiplikatorami), umiejscowione w tylnej części

urządzenia. Za ich zasilanie odpowiadają cztery akumulatory NiMH o rozmiarze AA, które są podłączone do sterownika i umiejscowione na podwoziu robota w pobliżu elementu odpowiadającego za sterowanie częścią napędową robota. Źródła zasilania silników i płytki są od siebie niezależne w celu uniknięcia zakłóceń w pracy robota.

Modułem, który ma za zadanie sterować silnikami jest dwukanałowy sterownik DRV8833. Silniki są połączone z nim za pomocą przylutowanych przewodów. W celu zwiększenia trwałości połączenia zastosowano koszulki termokurczliwe.



*Rys. 3. Dwukanałowy sterownik silników DRV8833 [9]*

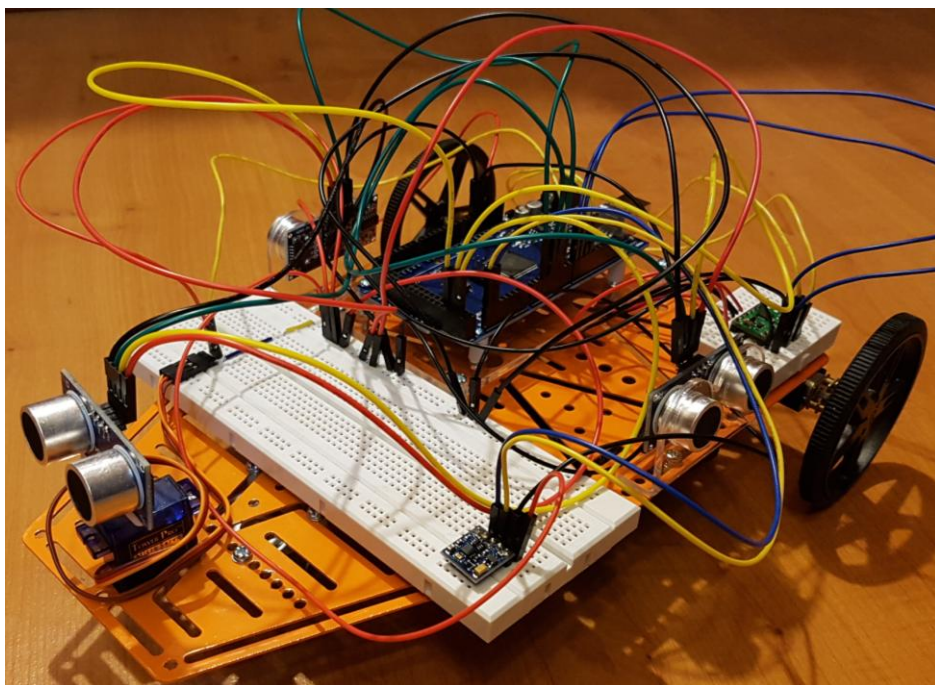
Obecność tego modułu w układzie elektronicznym jest konieczna do podawanie silnikom odpowiedniego napięcia, sterowania nimi za pomocą modulacji PWM, a co najważniejsze- bez sterownika silników mogłoby dojść do zakłóceń w pracy mikrokontrolera.

Wszystkie połączenia między poszczególnymi modułami wykonano przy pomocy przewodów i płytek stykowych. Na tym etapie nie projektowano płytki PCB, ponieważ projekt jeszcze nie jest ukończony i planowane są liczne modyfikacje oraz ulepszenia robota.

#### **4.3. KONSTRUKCJA MECHANICZNA**

Bazą, na której umiejscowione są moduły elektroniczne, silniki i pozostałe elementy jest konstrukcja mechaniczna robota. Zapewnia ona integralność całego urządzenia oraz w pewien sposób definiuje wzajemne położenie elementów. Elementami podstawowymi są dwie blaszki uniwersalne. Pierwsza z nich ma kształt prostokątny, a druga jest trapezem równoramiennym. Obydwie zostały

połączone ze sobą za pomocą połączeń gwintowych. Charakteryzują się one dużą ilością otworów, co umożliwia swobodną manipulację wzajemnym położeniem elementów na robocie bezproblemową modyfikację oraz dodawanie kolejnych modułów. Silniki DC przymocowano specjalnymi uchwytami dedykowanymi do nich. Płytkę Arduino została przymocowana do prostokątnej blaszki za pomocą połączeń gwintowych oraz dystansów. Jest to spowodowane koniecznością przeprowadzenia przewodów pod spodem pochodzących od silników i akumulatorów do sterownika silnika. Wszystkie połączenie nieelektryczne wykonano przy pomocy połączeń gwintowych, które się charakteryzują wysoką trwałością oraz możliwością ich usunięcia w razie potrzeby. W celu ułatwienia napraw i modyfikacji rodzaje gwintów ujednolicono i posłużono się gwintami M3. Wykonany model rzeczywisty znajduje się na poniższym rysunku:



*Rys. 4. Model rzeczywisty robota*

### 4.4. OPROGRAMOWANIE

Najbardziej złożoną część projektu stanowi oprogramowanie robota. Składa się ono z dwóch części. Pierwszą z nich jest program napisany w Arduino IDE,

który odpowiada za działanie mikrokontrolera. Został napisany w wysokopoziomowym języku C, który należy do rodziny języków strukturalnych [10] oraz jest kompatybilny z płytkami Arduino. Ten program zawiera w sobie:

- biblioteki niezbędne do obsługi modułów podłączonych do płytki,
- informacje, które piny są wejściami, a które wyjściami oraz zdefiniowane ich nazwy,
- funkcje sterujące układem napędowym, odpowiedzialne za prędkość robota, jazdę na wprost, skręcanie oraz cofanie,
- nazwy oraz typy zmiennych używanych w programie,
- utworzenie komunikacji dla magistrali I<sup>2</sup>C, do której jest podłączony magnetometr oraz zdefiniowanie osi  $x$  i  $y$ .

Bardzo ważną częścią tego programu jest funkcja przeliczająca pomiary odległości na centymetry. Bez tego odczyty odległości byłyby niemożliwe. W tej funkcji znajduje się równanie wynikające z noty katalogowej czujnika [10]. Ma ono następującą postać:

$$dystans = \frac{czas}{58} \quad (2)$$

Drugim programem napisanym na potrzeby niniejszego projektu jest aplikacja odpowiedzialna za narysowanie mapy. Została napisana w wysokopoziomowym, obiektowym języku Java. Język ten charakteryzuje przejrzysta składnia, multiplatformowość, powszechność oraz możliwość tworzenia zaawansowanych aplikacji [12]. Środowisko, w którym został napisany program to Processing, jest ono zadedykowane do tworzenia efektów wizualnych. Na potrzeby tego projektu zostały również wczytane biblioteka matematyczna niezbędna do realizacji równań, które ujednolicają odczytywane współrzędne oraz biblioteki związane z odczytem danych przesyłanych przez robota do komputera. Zawartość tego programu stanowią zmienne potrzebne do prawidłowego funkcjonowania programu oraz dwie klasy. Pierwsza z nich została utworzona w celu przechwytywania danych z Arduino, co wynika z procedury wykonywania tej czynności. Druga zaś to zbiór parametrów do utworzenia mapy. Zawiera on:

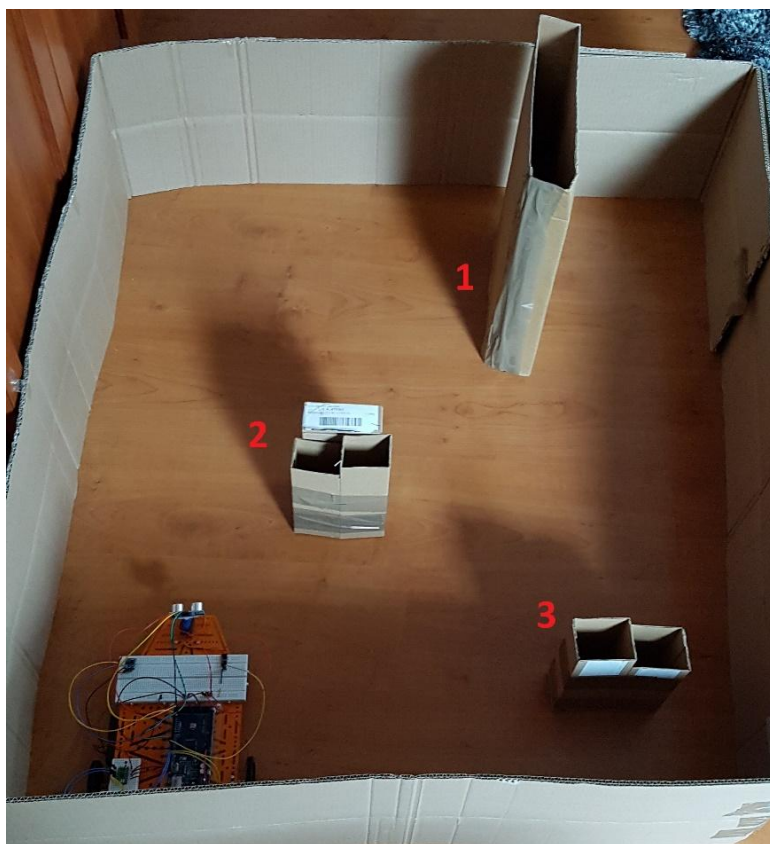
- informacje o wielkości, kolorze i kształcie punktów,
- kolor tła mapy,
- równania matematyczne przekształcające współrzędne biegunowe na kartezjańskie,
- wymiary tworzonej mapy podane w pikselach.

Ten program musi być uruchomiony jednocześnie z programem napisanym na Arduino. W przeciwnym razie jest zwracany błąd. Po zakończeniu wykony-

wania pomiarów przez robota wyświetlana jest mapa, będąca obiektem o parametrach zdefiniowanych w klasie. W tym projekcie ma to postać białego kwadratu oraz czarnych, okrągłych punktów.

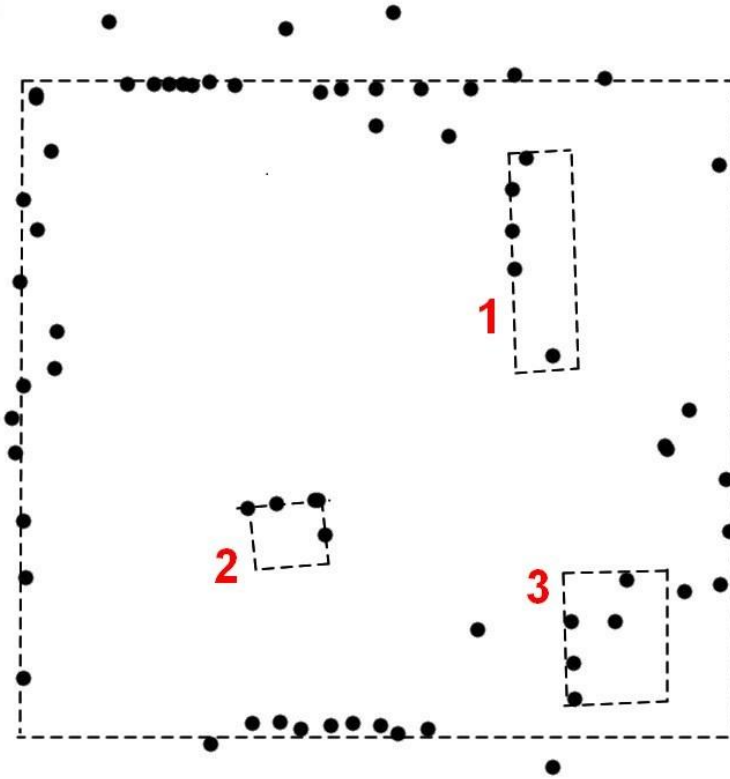
### 5. TEST URZĄDZENIA

Badanym przez robota obszarem była tekturowa makieta przedstawiona na rys. 5. Robot został umieszczony w położeniu startowym. Czerwone cyfry oznaczają przeszkody i są odniesieniem do mapy w celu jej interpretacji.



Rys. 5. Obszar testowy robota

Po zakończonych pomiarach otrzymano zbiór punktów na płaszczyźnie kartezjańskiej. W celu interpretacji otrzymanych rezultatów dodano czerwone cyfry, będące odniesieniem do przeszkód w obszarze testowym oraz linie przerywane.



Rys.6. Zbiór punktów na płaszczyźnie kartezjańskiej

Jak można zauważyć, otrzymana mapa ma charakter chaotyczny i jest trudna do jednoznacznego zinterpretowania. Pojawiają się też punkty w miejscach, gdzie nie ma żadnych obiektów. Ponadto, nie da się określić wymiarów pomieszczenia oraz odległości między przeszkodami. Dodatkowo, mapa jest nieproporcjonalna do rzeczywistego obszaru testowego.

Ponumerowane prostokąty to szacowane położenia przeszkód na mapie. Punkty pokazują przeszkody zdeformowane, a w przypadku obiektu nr 2 ciężko jest określić czy znajduje się tam pudełko czy też nie. Linie przerywane dookoła to szacowane rozmieszczenie ścian. Nie da się odczytać czy w lewym, dolnym rogu oraz za przeszkodą nr 1 znajduje się ściana czy nie. Kształt pomieszczenia też został zniekształcony.

Przyczynami otrzymanych rezultatów mogą być błędy odczytów z czujnika ultradźwiękowego, między innymi również te wynikające ze sposobu działania czujników tego typu, gdyż ultradźwięki ulegają częściowemu rozproszeniu



w momencie odbicia się od przeszkody [3], za mała liczba wykonanych pomiarów, błędy odczytów z magnetometru oraz niedokładności pokonywanej trasy wynikające z zastosowania silników DC. Ponadto, przyczyną jest prawdopodobnie niepewność związana z rzeczywistym położeniem robota w przestrzeni. Na słabą jakość mapy mogą też mieć wpływ szумы z czujników.

## **6. PODSUMOWANIE ORAZ PLANOWANE ULEPSZENIA**

Został zaprojektowany i wykonany robot dedykowany do tworzenia map pomieszczeń. Aby osiągnąć ten cel, zostały dobrane podzespoły elektroniczne oraz utworzono z nich układ elektroniczny. Została też wykonana konstrukcja mechaniczna stanowiąca bazę robota. Najbardziej rozbudowaną częścią projektu jest oprogramowanie składające się z dwóch aplikacji. Pierwsza z nich odpowiada za sterowanie ruchem robota oraz wykonywanie pomiarów odległości. Zadaniem drugiej natomiast jest przechwytywanie strumienia danych, przekształcanie współrzędnych biegunowych na kartezjańskie oraz tworzenie mapy bazującej na otrzymanych współrzędnych. Mapa ma postać zbioru punktów na płaszczyźnie kartezjańskiej i jest dwuwymiarowym widokiem z góry.

Otrzymane rezultaty nie są zadowalające. Mapy są chaotyczne i nieczytelne. W celu poprawy jakości map tworzonych przez robota planowane są liczne ulepszenia i modyfikacje.

W dalszych pracach nad projektem należy skoncentrować się nad minimalizacją tych błędów poprzez dodanie dalmierzy laserowych, które są dokładniejsze od czujników ultradźwiękowych. W przeciwieństwie do czujników ultradźwiękowych, sygnał nadawany przez czujniki laserowe nie ulega częściowemu rozproszeniu przed dotarciem do odbiornika [3]. Łatwiejsze też będzie zaznaczanie kątów pomieszczenia na mapie, co w przypadku użycia tylko czujników ultradźwiękowych jest praktycznie niemożliwe. Najlepszym rozwiązaniem będzie stosowanie obydwu czujników odległości jednocześnie, gdyż dalmierze źle sobie radzą w złych warunkach oświetleniowych oraz nie wykrywają przezroczystych ośrodków np. szyb. Zwiększenie precyzji pokonywanej trasy jest planowane poprzez wymianę silników DC na krokowe, które pozwalają na bardzo dokładne określenie odcinka, który został przejechany przez robota [13]. Kolejnym istotnym elementem jest projekt filtra cyfrowego, który będzie eliminował zafałszowane pomiary. Można też zastosować metodę najmniejszych kwadratów. Ponadto, należy zwiększyć liczbę pomiarów w jednym miejscu dla danego kąta i uśredniać ich wartość przed naniesieniem na mapę. W celu zwiększenia



precyzji magnetometru planowane jest dodanie akcelerometru i czujnika żyroskopowego, które będą kompensowały błędy odczytu. Planowane są też ulepszenia w aplikacji rysującej mapę. Do rysunku mapy zostaną dodane opisy osi oraz podziałka, która umożliwi oszacowanie wymiarów pomieszczenia oraz odległość między przeszkodami. Na uwagę zasługuje również układ zasilania, który wymaga optymalizacji. Dodany zostanie również moduł komunikacji bezprzewodowej w celu zwiększenia autonomii urządzenia. Połączenie za pomocą kabla USB jest szybkie, ale niewygodne i niepraktyczne oraz praktycznie uniemożliwia tworzenie map dla większych pomieszczeń. Pojawia się też ryzyko zahaczania kablem o przeszkody.

## LITERATURA

- [1] Nirmalakumari K., Patil V.P., Kaur P.A., *Simultaneous Localization and Mapping*, "International Journal of Engineering Development and Research", 2017, Vol. 5, Issue 2, p. 253–256
- [2] Li J., Wei X., Zhang G., *An Extended Kalman Filter-Based Attitude Tracking Algorithm for Star Sensors*, "Sensors (Basel)", 2017, 17(8)
- [3] Hughes C., Hughes T., *Programowanie robotów. Sterowanie pracą robotów autonomicznych*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2017
- [4] Arduino Mega, <https://botland.com.pl/arduino-moduly-glowne/1062-arduino-mega-2560-rev3-8058333490083.html>, (dostęp: 19.06.2018)
- [5] Arduino Mega, <https://www.sparkfun.com/products/11061>, (dostęp: 19.06.2018)
- [6] Evans M., Noble J., Hochenbaum J., *Arduino w akcji*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2014
- [7] Karvinen K., Karvinen T., *Czujniki dla początkujących*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2016
- [8] Magnetometr, <https://botland.com.pl/magnetometry/2722-magnetometr-gy-271-3-osiowy-cyfrowy-i2c-33v-5v-qmc5883-hmc5883l.html>, (dostęp: 19.06.2018)
- [9] DVR8833 Dual Motor Driver Carrier, <https://www.pololu.com/product/2130>, (dostęp: 19.06.2018)
- [10] Tłuczek M., *Programowanie w języku C*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2011
- [11] [https://botland.com.pl/index.php?controller=attachment&id\\_attachment=476](https://botland.com.pl/index.php?controller=attachment&id_attachment=476), (dostęp: 19.06.2018)
- [12] Schildt H., *Java. Kompendium programisty*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2011
- [13] Baichtal J., *Fascynujący świat robotów, Przewodnik dla konstruktorów*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2015

## **"PROGRAMMING CRAFT" CLUB ACTIVITIES**

### **1. INTRODUCTION**

"Programming Craft" club works on Information Technology and Systems faculty in Cherkasy State Technological University (ChSTU). "Programming Craft" is a club where students have opportunity to learn programming deeper than just attending regular classes. For joining the club a student should be primarily motivated to develop his skills in programming, but also must have some basic knowledge.

The primary purpose of the club is making students able to start their professional carrier in software development companies. Now, "Programming Craft" works on two projects. The first project is "Dean Office" which has two main goals: creating information system, which will be used for university needs and facilitating the students to get practical skills in programming by participating in real IT project. It was started in October 2017 and about 15 students (and more than 20 people in total) are involved in it. The students contribute to the project every day and every 3 weeks they summarize the results.

The second project is involving linguist students in IT. Its' purpose is on one hand to motivate and on the other hand to help linguists to get IT profession in future. 8 people are involved (2 IT students are teaching 6 linguist students). The project was started in March 2018. The classes are twice a week. The linguist students are planned to be involved in Dean Office project soon.

### **2. "DEAN OFFICE" PROJECT**

Every university uses information systems for students and university staff. There are several information systems used in ChSTU. They are MOODLE, Dean`s office applications, Common State Educational Database, Curricula and Timetable system. Each system solves some separate problems. Common State

---

<sup>1</sup> Cherkasy State Technological University, "Programming Craft" club

Educational Database is government owned mandatory to use by every university, but there are some organizational and legal problems with it now. Curricula and Timetable is proprietary system, the university pays for it. It covers curricula management, teachers workload, and creates classes timetable.

The Dean's offices in ChSTU use different applications. Two of them use program developed 10 years ago at ChSTU Information Technology and Systems faculty in Delphi 7 using DBMS Firebird 1.5. These applications are outdated both technologically and from business domain point of view. So, it is difficult to maintain these programs.

It makes sense to develop new common information system for university Dean's Offices. In future this system may be extended as integrated university information system.

### **PROJECT'S PRINCIPLES**

Cherkasy State Technological University and three Cherkasy software development companies decided to start a common project of developing a university information system based on the following principles:

1. It must be a multi-user web application.
2. It must be developed by students.
3. The up-to-date technologies and tools used in commercial development by software development companies must be used.
4. The companies provide consulting for students and check their work.
5. The system must work and be supported for years; new students substitute those who quit the project.

### **COMPANIES INVOLVED**

One of the main project's principles was involving software development companies as project's supervisors. Three biggest Cherkasy companies, that had experience of making software solutions for customers from USA, Canada and European countries initiated the project and are supervising it. They are SPD Ukraine, Interlink, and Master of Code. Their staff members attend demos, provide technical consultancy and review the code written by student team.

Interlink was established in 2000. This company unites experts in various areas of software development such as programming, quality assurance, project management, development team leadership, and graphic design [1]. Also com-

pany founded Interlink Internship for people who want to start their carrier as software engineers [2].

SPD is a provider of software development services. It was established in 2006. The company employs more than 250 professionals. Also, SPD Ukraine founded SPD University - project for active young people who want to improve their knowledge in IT sphere. Student who applied to SPD University can choose one of three courses: JAVA for Web, Front-End Development and QA. After graduation students are expected to be ready to work in IT sphere [3].

Master of Code is an outsourcing development company. It was established in 2004 and listed in "Top app development company 2016". Master of Code has 5 offices around the world (2 in US, 1 in Canada, 2 in Ukraine). Working staff is about 150 professionals. One of their latest works is "YourVersion" application that got 258 millions of downloads [4].

### **DEVELOPERS**

About 15 students are involved in the project now. Some of them did more work, some less. They are 2nd, 3rd, and 4th year students. For some of them this work is part of their regular study. They are divided into 3 teams, each of them has separate set of tasks. One team consists of students who work in different companies and contribute to this Dean's Office project making their diploma projects. Some students work as backend, some as frontend, and some as full-stack developers. It is an opportunity for every student to develop his soft skills participating in this project, not only hard skills.

### **TECHNOLOGIES USED**

Dean's Office application is a web application with potentially big amount of clients. It consists of separate backend and frontend projects. Frontend gets information from backend, using API. In backend part the following main technologies are used: Java, Spring Framework, Spring JPA for database access, etc. Database is Postgresql 9. Frontend project is based on Angular, Typescript, NodeJS, which are based on Javascript (Fig. 1).

On Fig. 2 an extended scheme of technologies used in the project is shown. They are related to different fields of knowledge: backend web programming, frontend web programming, database and related technologies, configuration management, and development process organization. Some technologies are related to several areas simultaneously.

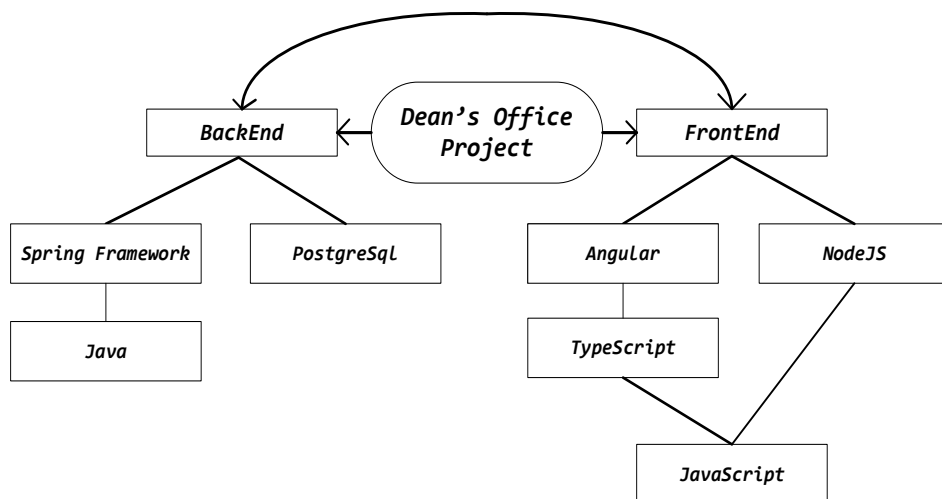


Fig. 1. Dean's Office project technologies map

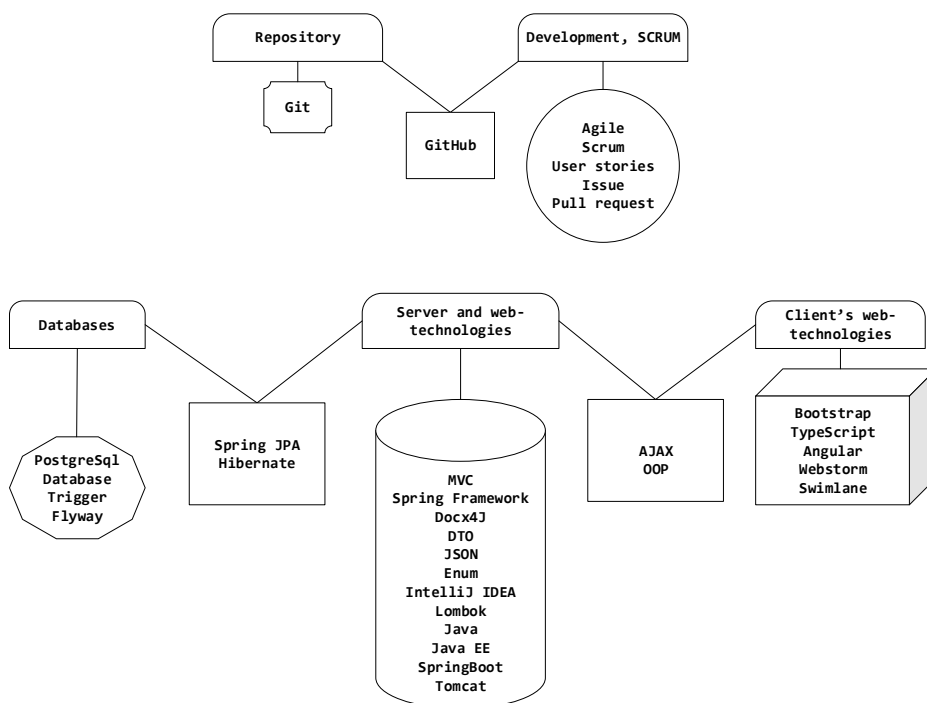


Fig. 2. Extended project technologies map

Actually, not everything in the Fig. 2 are really "technologies". There are also some concepts and principles, and also tools which students must understand to contribute to the project effectively. The whole number of it is rather big. It's not so easy to join the project: a student should be quite prepared. Some of the technologies are really huge, others can be learned for few days. Therefore, a student must learn a lot to do something really useful for this particular project.

Spring Framework has the following features: access to data, object-relation mappings and some instruments for database access, transactions support, which unites different API's and supports operations for Java objects, authentication and authorization built in, and also a Model-View-Controller pattern.

One more framework is Angular. It is used as MVC frontend development framework, which makes code better, more readable and supportable after adding dozens of features in application or site. It is developed by Google and solves really huge amount of problems.

Git was developed for developing Linux. It is really irreplaceable for teamwork. Repositories solve many different problems, so it is not only about sharing your code.

PostgreSQL is an open-source project, which is developed by different companies. It supports extending and database-trigger, which are very useful for developer.

## **CURRENT ACHIEVEMENTS**

1. The databases from previously used applications were migrated into new database.
2. Some main functions are developed, which provide possibility to input critical information and form appropriate documents. Specifically, the developed functions allow to view, add, update, and delete information on students, courses, grades, specialities.
3. One of the main functions implemented already is forming European diploma supplement. Since two years ago Ukrainian universities are required to give the students this kind of documents according to Bologna process requirements. This document provides all information of student's academic achievements both in Ukrainian and English. This module was first tested with master graduates this winter for two faculties which had migrated databases.
4. The Dean's Office web application version 1 is implemented in all eight dean's offices of ChSTU. All data needed was inputted and the European

diploma supplements were formed by the application for all more than 1000 graduates of year 2018.

#### **4. CONCLUSION**

The first stage of "Programming craft" club's Dean's office project was successful and provided the expected results. During application implementation some bugs were found but they were not critical. The developed software allowed to complete all tasks necessary for the first stage goal implementation: forming European diploma supplement for all graduates.

The students were really enthusiastic to participate in the project and significantly improved their practical skills in software development – both hard and soft. The next year the project is going to continue with new tasks and new students.

#### **REFERENCES**

- [1] <https://interlink-ua.com/en/about/> (access: 01.07.2018)
- [2] <https://blog.interlink-ua.com/article/internship/> (access: 01.07.2018)
- [3] <https://spd-ukraine.com/company/> (access: 01.07.2018)
- [4] <https://masterofcode.com/> (access: 01.07.2018)
- [5] <https://github.com/chdtu-fitis/> (access: 01.07.2018)

## **CRM SYSTEM SALESFORCE. FEATURES OF DEVELOPMENT ON SALESFORCE**

### **1. WHAT IS SALESFORCE**

SalesForce (SF) is one of the most powerful CRM system. Customer Relationship Management allows you to manage relationships with your customers, track data related to your collaborations, easily maintain and control all important information of your company. It also helps teams collaborate with each other or with you clients. Because of all information in one place – it is easy task for all members of your team to work effectively with all data, track important metrics and communicate via email, phone, social, and any other channels.

Many organizations keep their data in different places. They might have data in emails, spreadsheets, various databases, or point solutions. Every company has different reasons to do that, but the result is common for everyone: it is became very difficult to find necessary data and understand a complete picture of all information structure. Data is stored in one place in secure cloud cause SF is a cloud platform.

To get started immediately, the Platform provide out-of-the-box tools and services to automate many business processes, integrate with external applications, and many more. However, the Salesforce Platform allows developers extend all based tools and create their own ones to make applications whit great compatibility of user interests to quickly build and deploy trusted cloud applications. The best part is that the developers can make their applications without worrying about hardware provisioning because everything works in secure cloud. This is another benefit of cloud-based platform.

### **2. USER – WHO ARE THEY AND HOW THEY WORK**

As any system, SF created for use. So who is a Salesforce user? A user is anyone who logs in to Salesforce. Every company has its own organization pro-

---

<sup>1</sup> Cherkasy State Technological University, Software Engineering program



file. User at this org are employees at your company who need access to the company's data.

As organization, user has its own profile too. It's called account. Account helps admins control user access to company data, track history of actions and control organization secure in many other ways. Each user account contains at least the following required user information:

- Username
- Email Address
- User's First and Last Name
- License
- Profile.

Profile field in user account is the most important point of organization security and user comfortable workplace. It determines what features and records the user can access. Salesforce provides convenient tools of setting for user access level. System administrator can easily assign to each user necessary access level. This minimizes the risk of stolen or spoiled data and ensures all users can easily access the data they need at the same time.

In SF system the users have several access levels which determine what a user can view, create, edit, or delete of record or field in the organization data. There are such levels as level of the organization, objects, fields, or individual records. System administrator can combine security different levels and as a result – provide just the right level of data access to every user in organization profile. It is possible to configure access to data in SF at four main levels [1].

*Tab. 1. Four levels of access to data in Salesforce*

| SECURITY LEVEL      | DESCRIPTION                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ORGANIZATION</b> | At the highest level, you can secure access to your organization by maintaining a list of authorized users, setting password policies, and limiting login access to certain hours and certain locations.                                                                                                                                       |
| <b>OBJECTS</b>      | Object-level security provides the simplest way to control which users have access to which data. By setting permissions on a particular type of object, you can prevent a group of users from creating, viewing, editing, or deleting any records of that object. For example, you can use object permissions to ensure that interviewers can |

|                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                | view positions and job applications but not edit or delete them.                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>FIELDS</b>  | You can use field-level security to restrict access to certain fields, even for objects a user has access to. For example, you can make the salary field in a position object invisible to interviewers but visible to hiring managers and recruiters.                                                                                                         |
| <b>RECORDS</b> | To control data with greater precision, you can allow particular users to view an object, but then restrict the individual object records they're allowed to see. For example, record-level access allows interviewers to see and edit their own reviews, without exposing the reviews of other interviewers. You can manage record-level access in such ways. |

### 3. USER COLLABORATION

Any organization profile (shortly – “org”) needs their user to do their job. All work, collaboration and “Salesforce life” processed through apps. One can think of it like about his phone where he uses some standard apps or installs new one from market. These apps can do a lot of different tasks and be easily removed and installed again. In SF everything works totally the same. A user has his org, where he can install apps from market or create his own one. AppExchange is the Salesforce store. It's user's marketplace for all things Salesforce, including apps, Lightning components, and more.

In AppExchange, organizations can find many applications that match their needs. To provide all business processes and data management organization can develop their own apps but in many cases this is very expensive. So before doing that an organization can check AppExchange and try to find applications they need. In AppExchange all applications are third-party developed. But all of them licensed with Salesforce secure and quality exams.

### 4. DEVELOPER PART

#### FEATURE OF DATABASE

All organization data in SF are stored in database. It has object-orientated structure. That means that we should think about database tables as objects,

about columns as fields, and rows as records. Therefore, instead of an account spreadsheet or table, we have an Account object with fields and a bunch of identically structured records.

In SF there are many things out-of-the-box. And database object one of that things. This objects called “standard object” and have some fields as basic. Organization can edit object structure to make sure they meet their needs. We can add new custom fields to standard objects or create our own custom objects to store information that's unique to our organization.

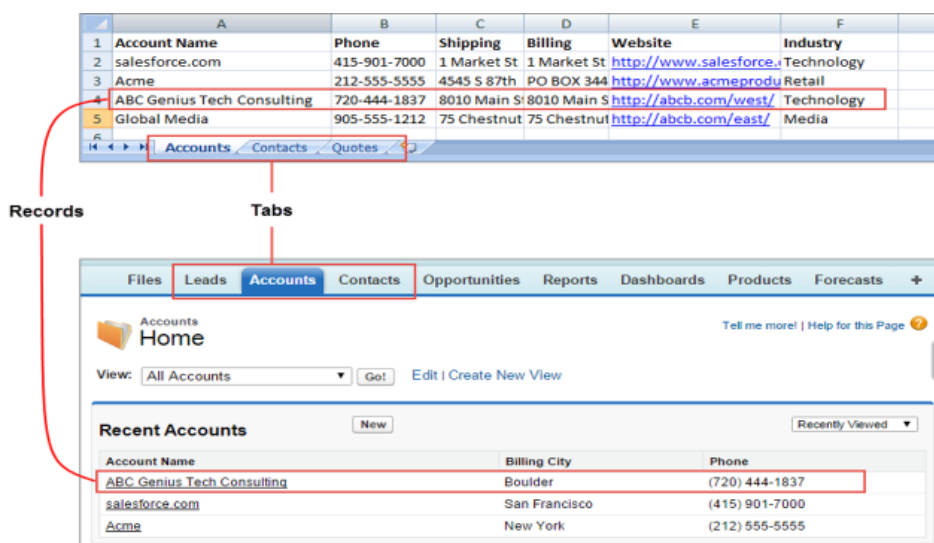


Fig. 1. Data tables as objects in SF [1]

Objects can create relationship with each other. It helps us to build more powerful, comfortable and correct data structure. There are two main types of object relationships: lookup and master-detail.

Tab. 2. Main types of object relationships in Salesforce

| TYPE                        | DESCRIPTION                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>LOOKUP RELATIONSHIPS</b> | A lookup relationship links two objects together so we can have access to one object throw other one. Lookup relationships can be one-to-one or one-to-many. In this relationship, we have parent and child object. Child object has the field with reference to it parent. And parent object has |

|                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                    | hidden field with all (or one if relationship type is one-to-one) child records.                                                                                                                                                                                           |
| <b>MASTER-DETAIL RELATIONSHIPS</b> | This type of relationship is the same as previous one. But in this case we have some additional logic benefits. If we delete child record (detail) – nothing will happen to its parent (master). However, if we delete parent – all child objects will be deleted at once. |

## VISUALFORCE

Visualforce app development is familiar to anyone who has built web apps. Developers create Visualforce pages by composing components, HTML, and optional styling elements. Visualforce can integrate with any standard web technology or JavaScript framework to allow for a more animated and rich user interface. Each page is accessible by a unique URL. When someone accesses a page the server performs any data processing required by the page, renders the page into HTML, and returns the results to the browser for display.

VisualForce uses the MVC model. It means that your page will ask the server about everything. All actions, all information will be processed on the server side. It's good for situations when you need a server response for everything. However, it may cause some problems for users with unstable internet connections.

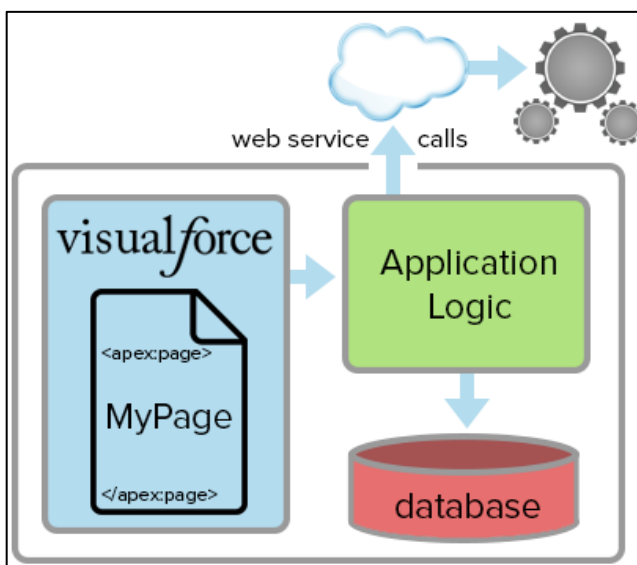


Fig. 2. MVC model of VisualForce [2]

## Code samples of VS page

## View – UI

```
<apex:pagecontroller="SearchControllerVFPresentation">
<header>
<script>
function searchDataWithFilters(event) {
event.preventDefault();

varnameFieldValue = document.getElementById("nameField").value;
varlastNameFieldValue = docu-
ment.getElementById("lastNameField").value;

getContactRecord(nameFieldValue, lastNameFieldValue);
}
</script>
</header>
<div id="content-area">

<apex:form>
<apex:actionFunctionname="getContactRecord" ac-
tion="{!getContactRecord}" reRender="table-area">
<apex:paramvalue="" name="firstName"/>
<apex:paramvalue="" name="lastName"/>
</apex:actionFunction>
</apex:form>
<apex:formid="contacts-search-form"
onsubmit="searchDataWithFilters(event)">
<button type="submit" class="slds-button slds-
button_neutral">{!$Label.Search}</button>
</apex:form>
<apex:outputPanelid="table-area">
<table id="contact-table">
<thead>
<tr>
<thclass="coll-percent-20">{!$Label.Salutation}</th>
<thclass="coll-percent-30">{!$Label.FirstName}</th>
<thclass="coll-percent-30">{!$Label.LastName}</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<trclass="body-tr">
<td class="primary-td">{!dbContactRecord.Salutation}</td>
<td>{!dbContactRecord.FirstName}</td>
<td>{!dbContactRecord.LastName}</td>
</tr>
</tbody>
</table>
</apex:outputPanel>
</div>
</apex:page>
```

## Controller – apex (server side) controller

```

public class SearchControllerVFPresentation {

public Contact dbContactRecord{
get;
set;
}

public void getContactRecord(){
    String firstName =
    ApexPages.currentPage().getParameters().get('firstName');
    String lastName =
    ApexPages.currentPage().getParameters().get('lastName');

    dbContactRecord= [SELECT Salutation, FirstName, LastName, Phone
    FROM Contact
    WHERE FirstName = :firstNameAND LastName = :lastName
    LIMIT 1];
}
}

```

## LIGHTNING EXPERIENCE

Lightning experience designed for lite and fast applications. It used for mobile and desktop as well. Lightning experience developing pretty same as VisualForce one but have several key-point differens. The biggest benefit of Lightning experience is it model – MVCC. Model-View-Controller-Controller provide more fast user experience and good for low speed internet connection and mobile usages.

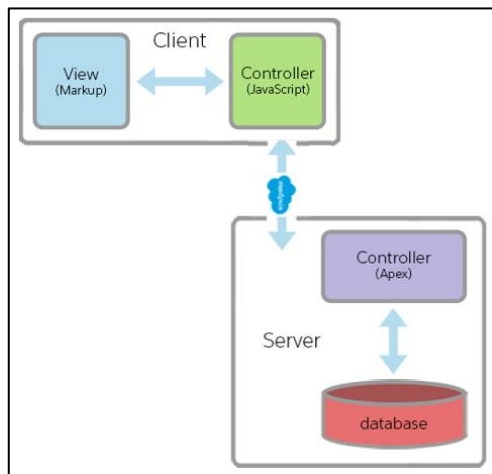


Fig. 3. MVCC model of Lightning Experience [3]

## Code sample of Lightning Experience

## View – UI

```

    <aura:component implements="flexipage:availableForAllPageTypes,force:appHostable"
    controller="SearchControllerLEPresentation">

    <aura:attribute name="contactRecord" type="Contact"/>

    <div id="content-area">
    <form id="contacts-search-form" onsubmit="{!c.searchWithFilters}">
    <div id="input-area">
    <input type="text" class="slds-input" aura:id="nameField" placeholder="{!$Label.c.FirstName}"/>
    <input type="text" class="slds-input" aura:id="lastNameField" placeholder="{!$Label.c.LastName}"/>
    </div>

    <button class="slds-button slds-button_neutral" type="submit">{!$Label.c.Search}</button>
    </form>

    <table id="contact-table">
    <thead>
    <tr>
    <th class="coll-percent-20">{!$Label.c.Salutation}</th>
    <th class="coll-percent-30">{!$Label.c.FirstName}</th>
    <th class="coll-percent-30">{!$Label.c.LastName}</th>
    <th class="coll-percent-20">{!$Label.c.Phone}</th>
    </tr>
    </thead>

    <tbody>
    <tr class="body-tr">
    <td class="primary-td">{!v.contactRecord.Salutation}</td>
    <td>{!v.contactRecord.FirstName}</td>
    <td>{!v.contactRecord.LastName}</td>
    <td>{!v.contactRecord.Phone}</td>
    </tr>
    </tbody>
    </table>
    </div>

    </aura:component>

```

## Controller – java script (client side) controller.

```

({
searchWithFilters: function(component, event, helper) {
event.preventDefault();
var nameFieldValue = component.find("nameField").getElement().value;

```

```

var lastNameFieldValue = component.find("lastNameField").getElement().value;

var action = component.get("c.getContactRecord");
action.setParams({
    "firstName": nameFieldValue,
    "lastName": lastNameFieldValue
});
action.setCallback(this, function (response) {
    if (response.getState() === "SUCCESS") {
        component.set("v.contactRecord", response.getReturnValue());
    }
    else {
        alert('Server Error')
    }
});

$A.enqueueAction(action);
}
})

```

#### Controller – apex (server side) controller

```

public class SearchControllerLEPresentation {

    @AuraEnabled
    public static Contact getContactRecord(String firstName, String
lastName) {
        Contact dbContactRecord = [SELECT Salutation, FirstName,
LastName, Phone
FROM Contact
WHERE FirstName = :firstName AND LastName = :lastName
LIMIT 1];

        return dbContactRecord;
    }
}

```

#### COMPARING OF VISUALFORCE AND LIGHTNING EXPERIENCE

In VisualForce all data stored in server side. That's why one needs to send requests to server side all the time. Besides your view should contain more or less logic (at least to connect to server). In Lightning Experience, you separate everything in different places. And the user keeps his main data in client side and requests server only when he really needs it.



## REFERENCES

- [1] [https://trailhead.salesforce.com/modules/lex\\_implementation\\_user\\_setup\\_mgmt/unit%2Fs/lex\\_implementation\\_user\\_setup\\_mgmt\\_configure\\_user\\_access](https://trailhead.salesforce.com/modules/lex_implementation_user_setup_mgmt/unit%2Fs/lex_implementation_user_setup_mgmt_configure_user_access) (access: 24.06.2018)
- [2] [https://trailhead.salesforce.com/en/modules/admin\\_intro\\_crm\\_basics/units/admin\\_intro\\_getstart\\_crm\\_basics](https://trailhead.salesforce.com/en/modules/admin_intro_crm_basics/units/admin_intro_getstart_crm_basics) (access: 24.06.2018)
- [3] [https://trailhead.salesforce.com/en/modules/visualforce\\_fundamentals/units/visualforce\\_intro](https://trailhead.salesforce.com/en/modules/visualforce_fundamentals/units/visualforce_intro) (access: 24.06.2018)
- [4] [https://trailhead.salesforce.com/en/modules/lex\\_dev\\_lc\\_basics/units/lex\\_dev\\_lc\\_basics\\_intro](https://trailhead.salesforce.com/en/modules/lex_dev_lc_basics/units/lex_dev_lc_basics_intro) (access: 24.06.2018)
- [5] <https://www.salesforce.com/> (access: 24.06.2018)
- [6] <https://trailhead.salesforce.com/en/home> (access: 24.06.2018)
- [7] <https://developer.salesforce.com/> (access: 24.06.2018)

## **REALIZACJA PRZYKŁADOWEJ APLIKACJI CIĘCIA W LOCIE WYKORZYSTYWANEJ W PRZEMYŚLE**

### **1. WSTĘP**

Zastosowanie układów serwomechanizmowych w przemyśle spowodowało dynamiczny rozwój jego automatyzacji. Precyzyjne sterowanie pozycją, możliwość uzyskiwania dużej dynamiki ruchu, a także możliwość pracy przy niewielkich prędkościach przyczyniły się do zwiększenia jakości oraz wydajności procesów technologicznych. Połączenie serwonapędów z urządzeniami programowalnymi pozwala opracowywać i konstruować rozbudowane systemy usprawniające produkcję.

Jedną z najważniejszych zalet serwomechanizmów jest możliwość ich sprzężenia w tzw. napęd wieloosiowy, co pozwala na realizację wysoce wyspecjalizowanych działań. Przyczyniło się to między innymi do udoskonalenia procesu cięcia materiałów transportowanych przy pomocy przenośników taśmowych – do powstania aplikacji zwanych „cięciem w locie”.

### **2. DEFINICJA CIĘCIA W LOCIE**

Cięcie w locie pozwala na obróbkę materiałów bez konieczności zatrzymywania przenoszącego je taśmociągu. Aby zrealizować tę technologię, należy odpowiednio zsynchronizować ruch narzędzia tnącego z ruchem materiału. Narzędzie tnące jest poprzez sygnały sterujące odpowiednio pozycjonowane w czasie swojej pracy. Jego prędkość jest synchronizowana z prędkością przenoszono materiału tak, aby ostrze było względem niego nieruchome. Całość cyklu obróbki realizowana jest sekwencyjnie. Wyróżnia się dwa główne rodzaje cięcia w locie, stosowane w zależności od rodzaju obrabianego materiału oraz parametrów procesu – są to konstrukcje wykorzystujące nóż poprzeczny lub tak zwaną latającą piłę [1][3].

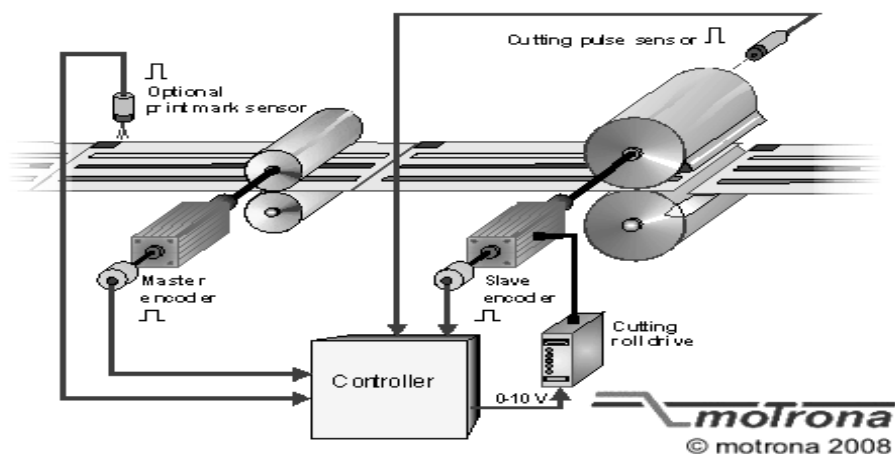
---

<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, Koło Naukowe "NAPĘD I AUTOMATYKA"

### 3. NÓŻ POPRZECZNY

Aplikacje wykorzystujące nóż poprzeczny stosowane są do separacji materiałów takich jak papier, tektura, tworzywa sztuczne i elementy metalowe o niewielkiej grubości, a także tkaniny. Przy wysokiej precyzji i zachowaniu dokładności na poziomie części dziesiętnych milimetra można osiągnąć wydajność obrabiarki nawet do kilkuset cykli na minutę. Długość trwania pojedynczego cyklu zależy od rodzaju obrabianego materiału oraz od pożądanych długości arkuszy materiału [2][3].

Narzędzie tnące w postaci noża zainstalowane jest na rolce. Rolka ta uczestniczy w przenoszeniu obrabianego materiału i jest odpowiednio synchronizowana z napędami taśmociągu. Jej prędkość obrotowa zależy od długości arkusza materiału oraz średnicy zastosowanej rolki [1].

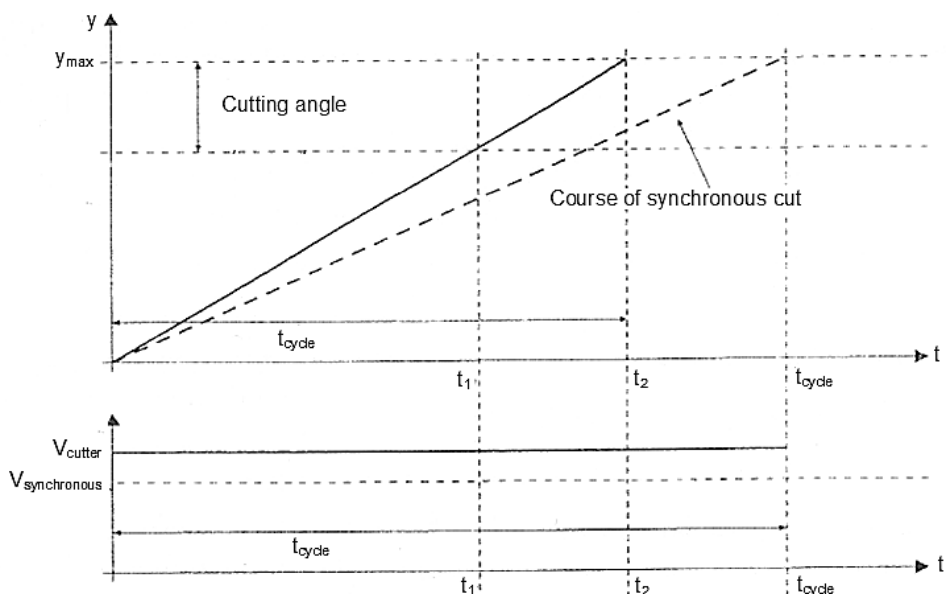


Rys.1. Aplikacja cięcia w locie wykorzystująca nóż poprzeczny [4]

Praca napędu rolki może być realizowana dwojako. W pierwszym przypadku formaty długości ciętego materiału są jednakowe. Wówczas ruch obrotowy rolki z zamontowanym nożem odpowiada prędkości przenośnika taśmowego przesuującego materiał. Oznacza to, iż oba napędy pracują synchronicznie. W drugim przypadku długości arkuszy są różne. Wymaga to zmiennej prędkości obrotowej rolki, w zależności od bieżącej długości cięcia. Wykorzystanie układu sterowania i kontroli powyższych napędów pozwala stworzyć zaawansowany proces umożliwiający wykonywanie określonej sekwencji ruchów maszyny [1][2][3].

W zależności od prędkości noża względem prędkości przesuwającego się materiału, wyróżnia się ponadto pracę przy prędkości synchronicznej lub asynchronicznej.

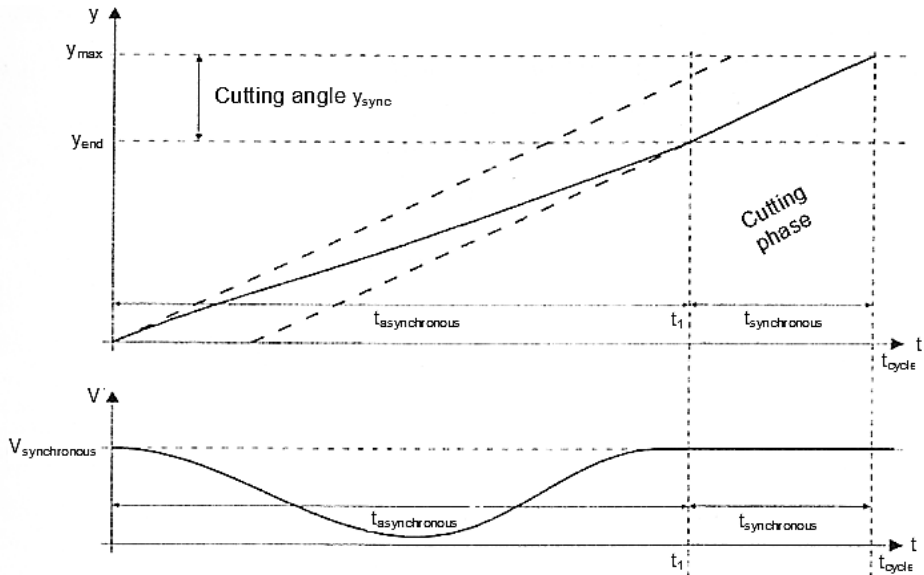
Podczas pracy asynchronicznej może dojść do dwóch niekorzystnych zjawisk. Gdy prędkość napędu rolki noża jest niższa od prędkości napędu przesuwającego się materiału, obrabiarka pracuje z prędkością podsynchroniczną (rys. 3.). Skutkuje to nawarstwianiem się materiału przed nożem, a w konsekwencji jego kompresję. Jeżeli zaś prędkość rolki jest większa niż prędkość obrabianego materiału, zachodzi przypadek pracy nadsynchronicznej (rys. 2., rys. 4.). Prowadzi to do naprężania się materiału przed nożem i stwarza ryzyko jego zniszczenia. Cięcie przy prędkości asynchronicznej wykorzystuje się tam, gdzie nie jest wymagana najwyższa jakość obróbki [1][2][3].



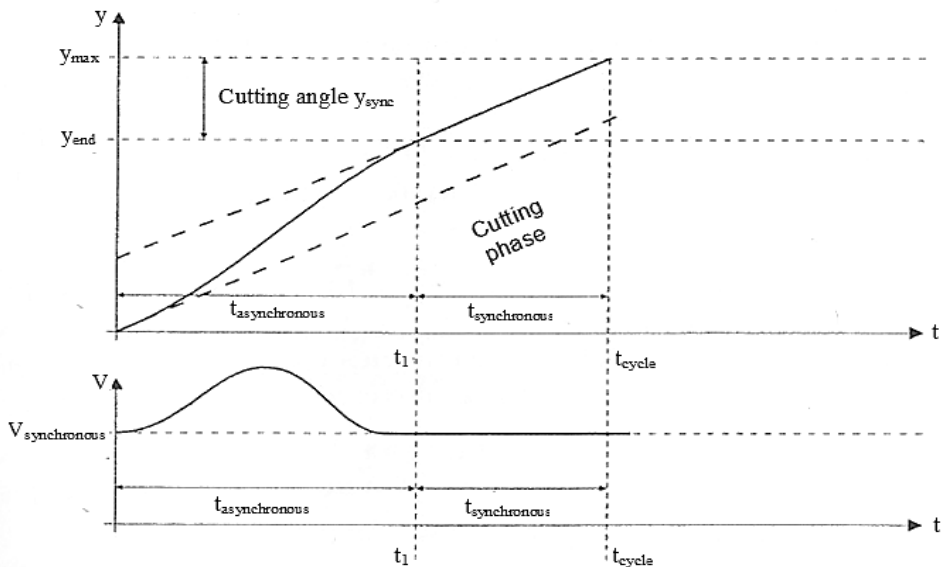
Rys. 2. Przykład nadsynchronizmu przy asynchronicznej pracy noża tnącego [1]

W przypadku cięcia synchronicznego, prędkości napędu noża tnącego oraz przemieszczanego materiału są jednakowe, co przedstawia rysunek 5. Stosowana w praktyce technologia wiąże się z tworzeniem zaawansowanych aplikacji umożliwiających obróbkę materiału o zmiennych formatach długości. Praca nadsynchroniczna lub podsynchroniczna napędów przy zachowaniu odpowiedniej parametryzacji i optymalizacji procesów wymaga przyspieszania

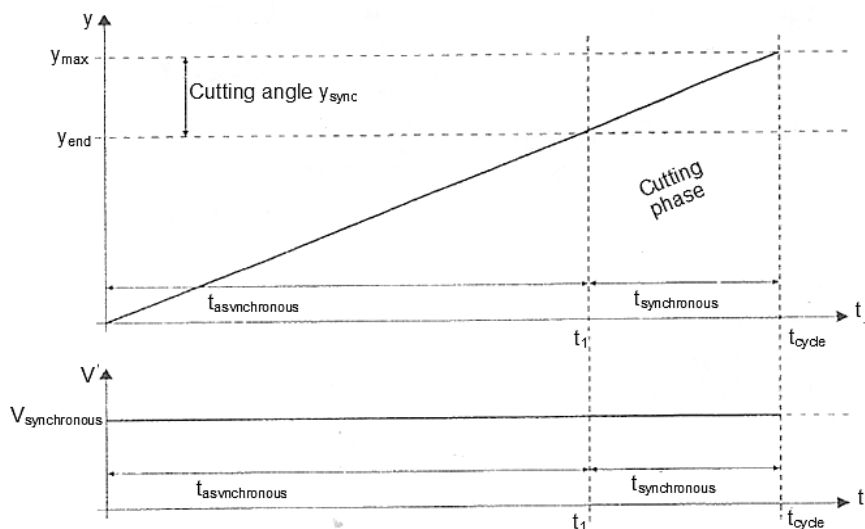
i hamowania napędu ostrza tnącego. W chwili cięcia dochodzi do synchronizacji prędkości obu napędów [1][2].



Rys. 3. Przebiegi podsynchronizmu dla synchronicznej pracy maszyny tnącej [1]



Rys. 4. Przebiegi nadsynchronizmu dla synchronicznej pracy maszyny tnącej [1]



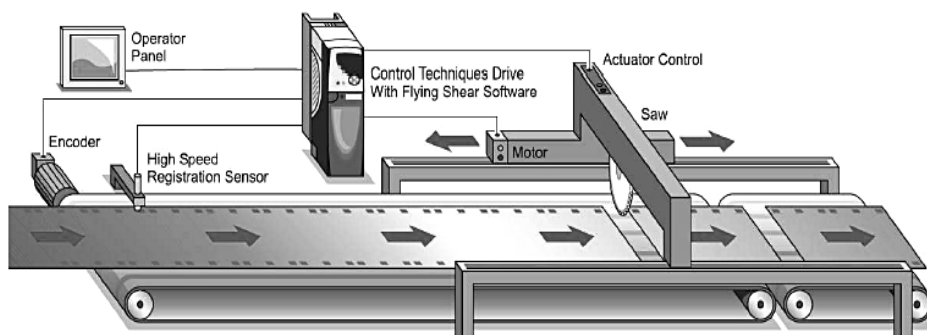
Rys. 5. Praca synchroniczna maszyny tnącej wykorzystującej obrotowy nóż poprzeczny [1]

#### 4. LATAJĄCA PIŁA

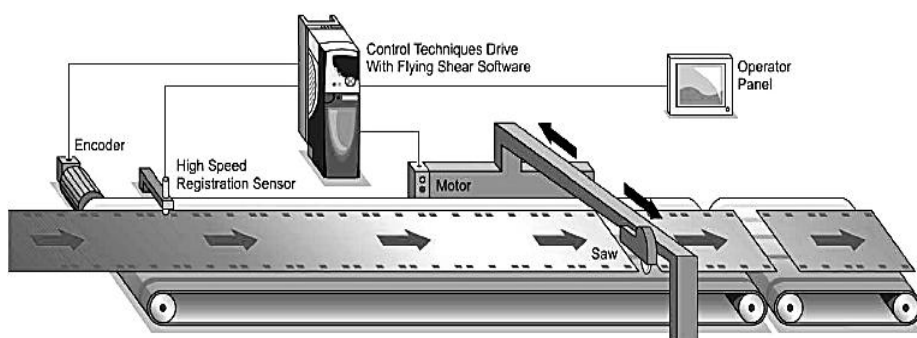
Drugim rodzajem technologii cięcia w locie jest zastosowanie narzędzia tnącego w postaci obrotowego ostrza. Takie aplikacje wykorzystywane są do obróbki materiałów o znacznej grubości i twardości. Oznacza to, iż czas trwania procesu jest stosunkowo większy i osiąga nawet kilka sekund. Przy dokładności do 1 mm oraz niewielkiej prędkości posuwu materiału można uzyskać wydajność na poziomie kilkudziesięciu cykli na minutę. Oznacza to kilkukrotnie mniejszą szybkość wykonywania procesu obróbki niż przy zastosowaniu noża poprzecznego [1][2][3].

Maszyna realizująca powyższą metodę cięcia w locie wyposażona jest w co najmniej 4 układy napędowe, a mianowicie:

- napęd przenośnika taśmowego transportującego materiał,
- napędu osi równoległej do przenośnika,
- napędu osi poprzecznej, na której zamontowano napęd narzędzia tnącego,
- napędu piły rotacyjnej wykonującej cięcie [3].



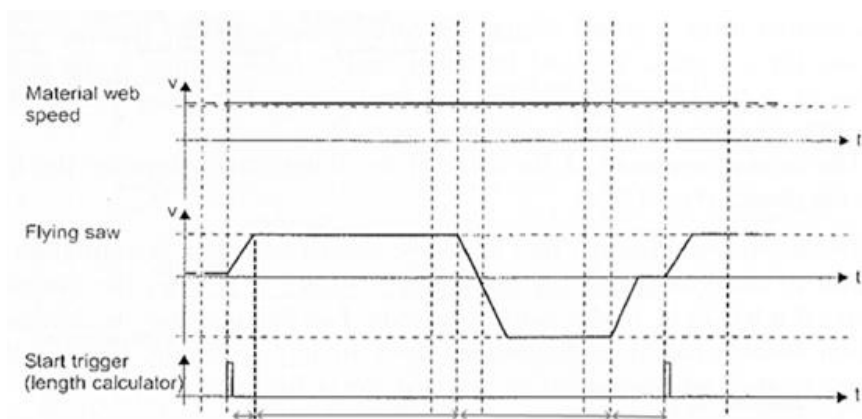
Rys. 6. Maszyna realizująca cięcie w locie w wykorzystaniu piły rotacyjnej [5]



Rys. 7. Aplikacja cięcia w locie z narzędziem tnącym zamontowanym na belce ukośnej [5]

Sekwencję procesu obróbki materiału przedstawiono na rysunku 8 poniżej. Jest on podzielony na kilka etapów:

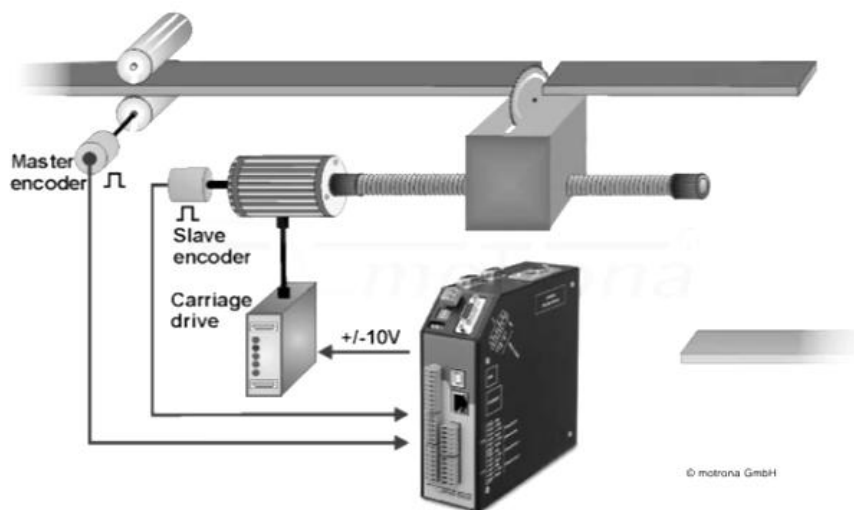
- Etap I: Następuje synchronizacja ruchów. Napęd narzędzia tnącego jest przyspieszany do prędkości przesuwanego materiału. Po osiągnięciu równowagi, piła jest przemieszczana nad żadaną pozycją cięcia.
- Etap II: Podczas synchronicznego ruchu wzdłuż taśmociągu, element tnący wgłębia się w materiał i przecina go. Proces ten trwa aż do całkowitej separacji produktu. Ważne jest, aby podczas zadania cięcia została zachowana prędkość synchroniczna tarczy tnącej. Może to skutkować uszkodzeniem piły bądź samego materiału.
- Etap III i IV: Element tnący jest usuwany z materiału, a następnie napęd powraca do pozycji bazowej oczekując na ponowne rozpoczęcie pracy [1][2].



Rys. 8. Przebieg procesu cięcia w locie z wykorzystaniem piły rotacyjnej [1]

Długość trwania poszczególnych działań zależy od:

- czasu potrzebnego na osiągnięcie prędkości synchronicznej (decydujący wpływ ma dobór nastaw regulatorów),
- twardości oraz szerokości obrabianego materiału,
- czasu potrzebnego na usunięcie narzędzia tnącego z detalu,
- czasu powrotu narzędzia do pozycji bazowej [2][3].



Rys. 9. Cięcie w locie wykorzystujące pilę rotacyjną zamontowaną na przekładni śrubowej [4]

W aplikacjach cięcia w locie wymagana jest wysoka precyzja oraz duża dynamika ruchów poszczególnych napędów. Wpływa to na zaawansowanie układu



sterowania oraz kontroli pracy w celu optymalizacji i parametryzacji procesu przetwórczego.

Poniżej w tabeli przedstawiono parametry cięcia materiałów w różnych obszarach przemysłu z wykorzystaniem opisanych metod cięcia w locie. Narzędzie tnące w postaci poprzecznego noża obrotowego wykorzystywane jest do obróbki materiałów stosunkowo lekkich oraz cienkich i pozwala na osiągnięcie wysokiej wydajności. Natomiast przy użyciu latającej piły dokonuje się obróbki materiałów cięższych o większej twardości przy kilkakrotnie mniejszej prędkości oraz wydajności produkcji.

Tab. 1. Zestawienie obszarów zastosowań narzędzi tnących [1]

|                       | <b>Obszary<br/>zastosowania</b>                 | <b>Sektor<br/>przemysłu</b> | <b>Prędkość<br/>(<math>\frac{m}{min}</math>)</b> | <b>Precyzja<br/>(mm)</b> | <b>Cykliczność<br/>(<math>\frac{cykl}{min}</math>)</b> |
|-----------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------|
| <b>POPRZECZNY NÓŻ</b> | Produkcja stalowych drutów                      | Metal                       | 40 – 80                                          | 0.2 – 0.3                | 60 – 300                                               |
|                       | Produkcja tektury falistej                      | Papier                      | 100 – 400                                        | 0.1 – 0.5                | 60 – 300                                               |
|                       | Produkcja materiałów pakujących                 | Pakowanie                   | 100 – 200                                        | 0.1                      | 300 – 600                                              |
|                       | Cięcie, wytłaczanie (kartonów, arkuszy papieru) | Papier, Plastik             | 100 – 200                                        | 0.1                      | 300 - 600                                              |
| <b>LATAJĄCA PIŁA</b>  | Materiały izolacyjne                            | Materiały budowlane         | 2 – 25                                           | 0.5 – 1.0                | 10 – 20                                                |
|                       | Drewno                                          | Obróbka drzewna             | 5 – 40                                           | 0.5 – 1.0                | 5 – 10                                                 |
|                       | Siatki metalowe                                 | Metal                       | 5 – 50                                           | 0.5 – 1.0                | 4 – 10                                                 |
|                       | Profile plastikowe                              | Plastik                     | 4 – 60                                           | 0.5 – 1.0                | 5 – 20                                                 |

## 5. ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE

W projekcie przykładowego sterowania maszyną realizującą cięcie w locie metodą "latająca piła" przyjęto założenia dotyczące jego działania, a także budowy programowanej maszyny.

### **Założenia odnośnie budowy maszyny:**

- obecne są trzy osie ruchu, obsługujące kolejno: ruch taśmociągu transportującego materiał, ruch głowicy tnącej wzdłuż materiału oraz pionowy ruch poprzeczny ostrza względem materiału,
- wszystkie osie ruchu obsługiwane są przez serwomechanizmy,
- dodatkowo obecny jest napęd tarczy tnącej, obsługiwany przez silnik inny niż serwonapęd,
- wykrywanie markera umieszczonego na przecinanym materiale odbywa się za pomocą optycznego czujnika kontrastu,
- maszyna wyposażona jest w wyłącznik bezpieczeństwa, odcinający zasilanie napędów [2].

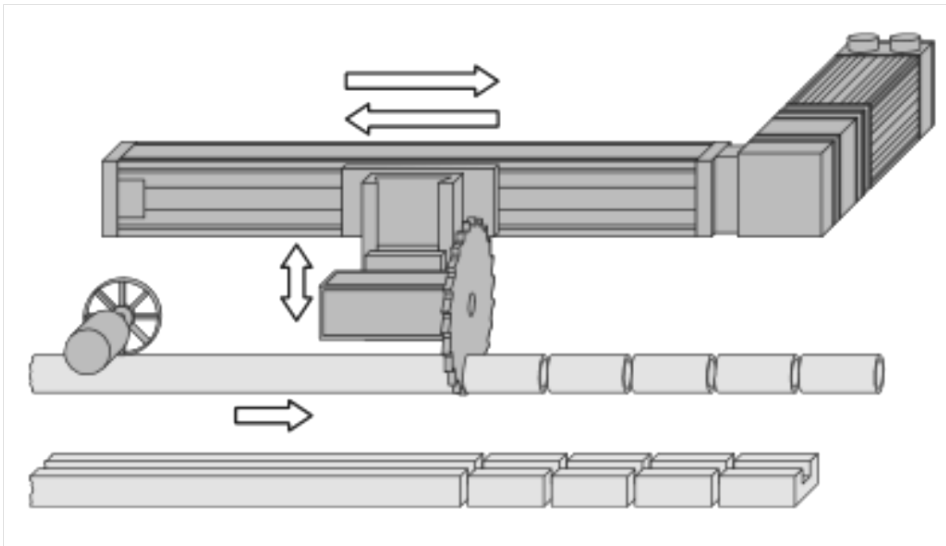
### **Założenia odnośnie sterowania:**

- taśmociąg przenoszący obrabiany materiał wykonuje ruch ciągły z prędkością zadaną przez operatora lub programowo aż do momentu zatrzymania procesu,
- sekwencja cięcia wyzwalana jest przez sygnał z czujnika optycznego,
- możliwa jest kontrola procesu z poziomu panelu operatorskiego,
- naciśnięcie przycisku zatrzymania procesu na panelu operatorskim wywołuje zatrzymanie maszyny po zakończeniu bieżącego cyklu cięcia,
- maszyna może pracować w dwóch trybach pracy: automatycznym – praca z pełną prędkością oraz serwisowym – praca ze znacznie zmniejszoną prędkością, mająca na celu wykrycie niedokładności ruchów czy ewentualnych usterek,
- obsługa błędów serwowzmacniaczy jest możliwa z poziomu panelu operatorskiego [2].

## 6. ALGORYTM STEROWANIA

Przedstawione powyżej założenia projektowe zostały zaaplikowane do algorytmu sterowania przedstawionego na rysunku 11. Algorytm rozpoczyna się od uruchomienia układu sterowania i zdiagnozowania go pod względem występowania błędów. Po zapewnieniu prawidłowej pracy układu sterowania załączane

jest napięcie zasilające serwosilniki. Maszyna jest w tym stanie gotowa do pracy. Po sprawdzeniu jej stanu, operator wydaje zezwolenie na pracę obrabiarki. Następuje bazowanie osi serwonapędów (wyznaczenie ich pozycji początkowej). Dalsza praca napędów uzależniona jest od wybranego przez operatora trybu pracy. Algorytm przewiduje dwie możliwości. Pierwszą jest tryb pracy automatycznej, będący cyklem produkcyjnym obróbki. Natomiast drugi to tryb serwisowy, w którym, dzięki znacznemu ograniczeniu prędkości wszystkich ruchów obrabiarki, możliwa jest dokładna obserwacja i kontrola działania maszyny oraz stanu jej elementów (np. prowadnic). Rysunek poglądowy budowy opisywanej głowicy tnącej przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 10. Poglądowy rysunek maszyny wykonującej cięcie w locie metodą „latająca piła” [6]

Widać wyraźnie, że przedstawiona na powyższym rysunku głowica tnąca posiada 3 napędy:

- napęd odpowiadający za synchronizację ruchu piły z ruchem obrabianego materiału,
- napęd poprzeczny, który odpowiada za wgłębianie piły w materiał,
- napęd zapewniający ruch obrotowy piły.

Oznacza to, że zobrazona maszyna spełniałaby zaprezentowane wcześniej założenia projektowe.

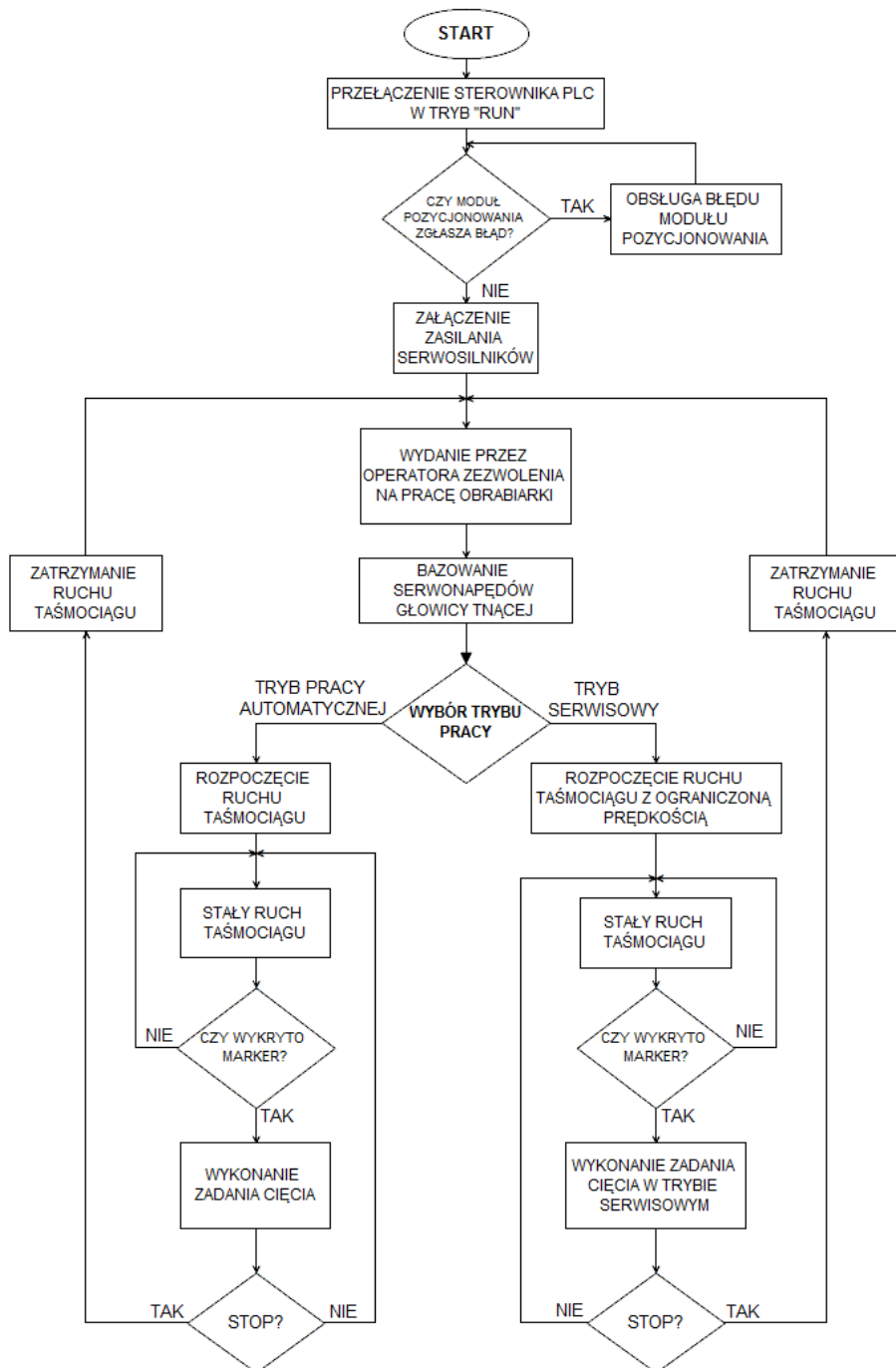
W trybie pracy automatycznej ruch taśmociągu transportującego obrabiany materiał jest wykonywany stale, z prędkością zadaną z panelu operatorskiego

lub programowo. Prędkość ta ograniczona jest wydajnością obrabiarki oraz długością arkuszy, na które ma zostać pocięty materiał. Po wykryciu markera następuje wykonywanie zadania cięcia. Krok ten zostanie omówiony szczegółowo w dalszej części referatu. Po zakończeniu powyższego cyklu, kontrolowany jest stan przycisku zatrzymującego proces znajdujący się na panelu operatorskim. Jeśli został on naciśnięty, obrabiarka zostaje zatrzymana, aż do momentu ponownego wydania zezwolenia na pracę przez operatora oraz wyborze trybu pracy. Może wtedy nastąpić także bezpieczne wyłączenie maszyny. Jeżeli operator nie wydał polecenia zatrzymania obrabiarki, cykl powtarza się.

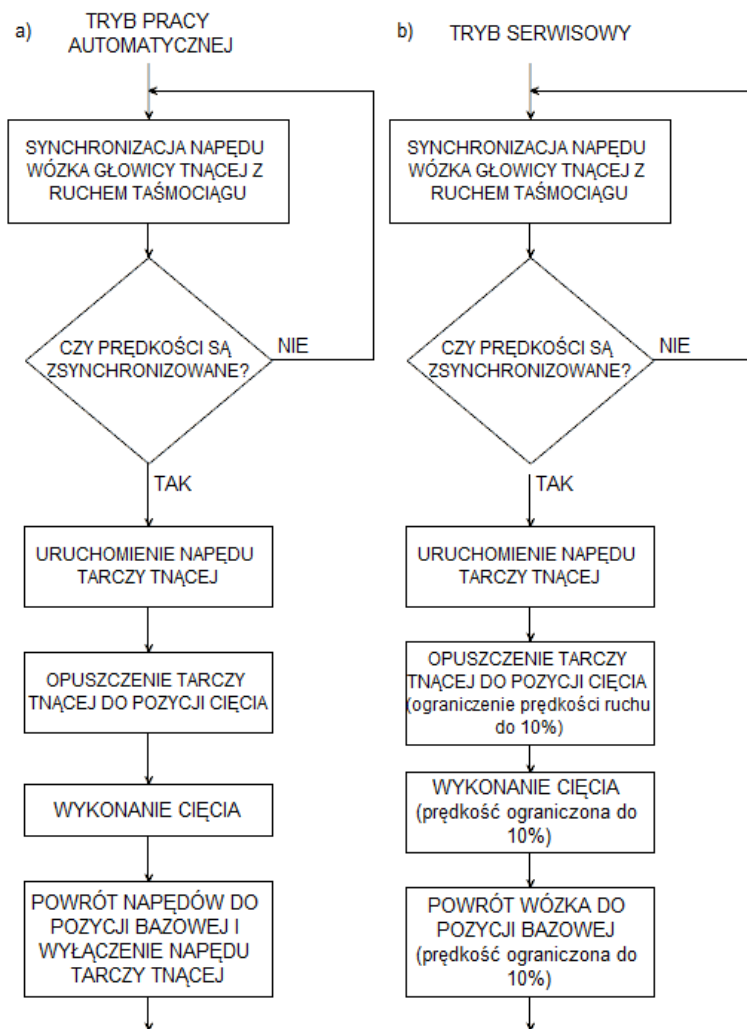
W trybie serwisowym wykonywane są te same ruchy, jednakże są one znacznie spowolnione. Istnieje możliwość sprawdzenia pracy maszyny bez obecności materiału z naniesionymi markerami, aktywując czujnik optyczny ręcznie. Cykl pracy wykonany w zwolnionym tempie pozwala zaobserwować między innymi ewentualne niedokładności montażowe obrabiarki czy przetestować zachowanie maszyny po wprowadzeniu zmian w programie sterującym.

Zawartość bloków „WYKONANIE ZADANIA CIĘCIA” w obu trybach pracy przedstawiono na rysunku 12. Widać wyraźnie, że różnią się one jedynie prędkością wykonywania ruchów przez głowicę tnącą. Zostanie więc opisany tylko blok wykonywany w trybie pracy automatycznej. Po wykryciu przez czujnik optyczny markera na obrabianym materiale uruchamiany jest napęd wzdłużny głowicy tnącej, którego prędkość synchronizowana jest z prędkością transportowanego materiału. Po osiągnięciu synchronizacji, następuje załączenie napędu tarczy tnącej, a następnie opuszczenie tarczy tnącej do pozycji cięcia. Po przecięciu materiału wykonuje się powrót serwonapędów głowicy tnącej do pozycji początkowych oraz wyłączenie układu napędowego tarczy tnącej.

Należy wspomnieć, że w przypadku tego typu obrabiarki, ze względu na obecność ostrza, konieczne jest zastosowanie dodatkowego algorytmu safety, działającego równoległe z algorytmem głównym. W celu jego prawidłowej aplikacji, konieczna jest obecność na panelu operatorskim wyłącznika bezpieczeństwa, który zatrzyma maszynę w bezpiecznym położeniu w dowolnym momencie trwania cyklu pracy.



Rys. 11. Algorytm sterowania maszyną wykonującą cięcie w locie metodą „latająca piłą” [2]

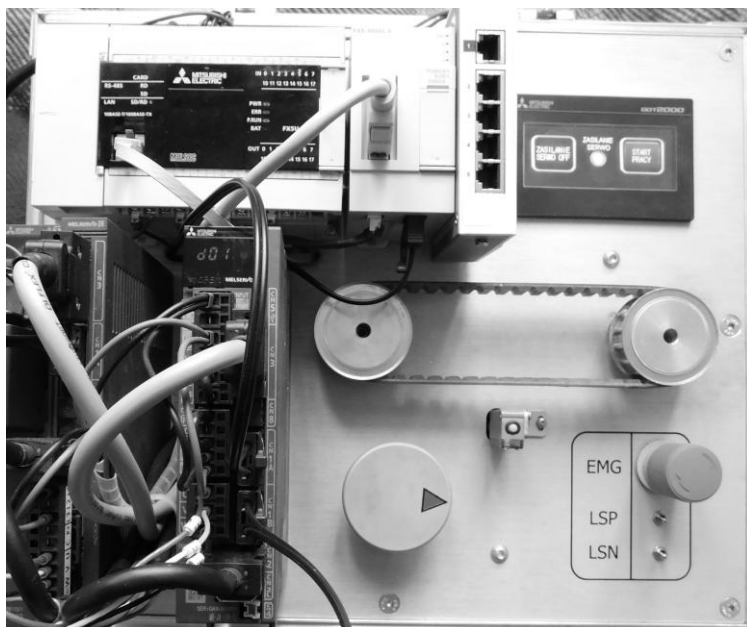


Rys. 12. Rozwinięcie bloku „WYKONANIE ZADANIA CIĘCIA” a) w trybie pracy automatycznej, b) w trybie serwisowym

## 7. REALIZACJA PRAKTYCZNA

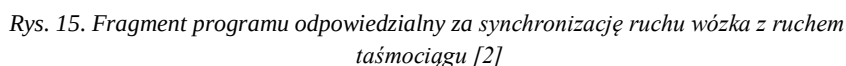
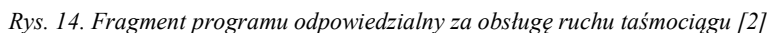
Uproszczona wersja powyższego algorytmu sterowania została zaaplikowana do sterownika PLC firmy Mitsubishi Electric. Uproszczenie było konieczne ze względu na dostęp do jedynie dwóch serwowzmacniaczy. Zarówno sterownik, jak i serwonapędy wchodziły w skład stanowiska dydaktycznego, udostępnionego przez firmę Mitsubishi Electric. Zestaw zawierał sterownik PLC z modulem Simple Motion (odpowiedzialnym za obsługę osi serwonapędów), dwa serwo-

wzmacniacze wraz z serwonapędami, czujnik optyczny, panel HMI oraz zestaw przełączników. Zestaw dydaktyczny ukazano na rysunku 13.



Rys. 13. Zestaw dydaktyczny z serwonapędami firmy Mitsubishi Electric [2]

Program obejmował obsługę dwóch osi obrabiarki - napędu taśmociągu oraz napędu wzdłużnego głowicy tnącej, synchronizowanego z taśmociągami. Na rysunkach 14 oraz 15 przedstawiono zrzuty ekranu z kodu programu. Są one odpowiedzialne odpowiednio za obsługę ruchu taśmociągu oraz za synchronizację ruchu wózka głowicy tnącej z ruchem taśmociągu po wykryciu markera przez czujnik optyczny. Ciągły ruch taśmociągu jest wyzwalany bezpośrednio po wyborze automatycznego trybu pracy maszyny. Za ruch ten odpowiada blok o nazwie RUCH\_TASMA. Prędkość, z jaką ma poruszać się taśma, zapisywana jest w zmiennej PREDKOSC\_TASMA. Ta sama prędkość jest również wystawiana na panel HMI, gdzie operator może dokonać jej podglądu. Synchronizacja napędu wózka głowicy tnącej jest natomiast obsługiwana przez blok funkcyjny SYNC\_CIECIE (rys. 15.). Działanie tego bloku wyzwalane jest przez wykrycie markera (styk MARKER) na czas określony w zmiennej CZAS\_WOZEK. Czas ten jest obliczany na podstawie zaprogramowanej długości arkusza i prędkości taśmociągu. Po upływie tego czasu blok synchronizacji jest dezaktywowany aż do wykrycia kolejnego markera.





## 8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Cięcie w locie jest technologią pozwalającą znacznie usprawnić proces obróbki materiałów ciągłych. Dzięki zastosowaniu sterowanej głowicy tnącej eliminuje ona konieczność zatrzymywania taśmociągu przy każdym cięciu, co powoduje zauważalne zmniejszenie strat mocy w układzie. W zależności od rodzaju oraz parametrów obrabianego materiału stosuje się jedno z dwóch narzędzi tnących, które warunkują budowę obrabiarki. Są to nóż rotacyjny czy też latająca piła. Nóż pozwala na osiągnięcie znacznie większych wydajności obróbki niż piła, ale nadaje się jedynie do przecinania materiałów cienkich i stosunkowo miękkich. Piła, mimo wolniejszej pracy, jest w stanie przeciąć materiały znacznie twardsze i grubsze.

Algorytm maszyny wykonującej obróbkę w tej technologii jest pozornie nieskomplikowany. Należy jednak pamiętać, iż w układzie obrabiarki występują elementy wirujące i ostre. W związku z tym, należy zastosować osobny algorytm bezpieczeństwa, uwzględniający konieczność występowania na panelu oraz na maszynie wyłączników bezpieczeństwa, a także nieustannie skanujący stany pracy układu. Do wykonywania algorytmu bezpieczeństwa warto zastosować osobny sterownik safety, który będzie wykonywał swój cykl programowy niezależnie od stanu pracy obrabiarki. W ten sposób uniknąć można wypadków powodujących zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi oraz ryzyko uszkodzenia maszyny i obrabianego materiału.

## LITERATURA

- [1] Kiel E. (Ed), *Drive solutions. Mechatronics for Production and Logistics*, Wydawnictwo Springer, 2008
- [2] Pastuszak K., *Projekt sterowania ruchu napędu wieloosiowego w trybie pracy „z markerem”*, Praca inżynierska, Politechnika Lubelska, 2018
- [3] Waryszak A., *Projekt sterowania ruchu napędu wieloosiowego z wykorzystaniem serwonapędów firmy Mitsubishi*. Praca inżynierska, Politechnika Lubelska, 2018
- [4] <http://www.motrona.com/produkte/steuerungen/rotations-querschneider.html> (dostęp: 05.2018)
- [5] [http://www.emersonindustrial.com/Images/ControlTechniques/Other/flying\\_shear\\_lrg.jpg](http://www.emersonindustrial.com/Images/ControlTechniques/Other/flying_shear_lrg.jpg) (dostęp: 05.2018)
- [6] Katalog firmy Parker zawierający elementy kontroli ruchu, [https://www.parker.com/literature/Electromechanical%20Europe/Literature/192\\_490123\\_Motion%20Control\\_Products.pdf](https://www.parker.com/literature/Electromechanical%20Europe/Literature/192_490123_Motion%20Control_Products.pdf) (dostęp: 11.2017)

## WYDAJNY I NOWOCZESNY C++ NA PLATFORMIE AVR

### 1. WSTĘP

Mikrokontrolery tworzone w architekturze AVR istnieją stosunkowo długo na rynku, ale dopiero kilka lat temu, dzięki Arduino, zyskały większą popularność wśród hobbystów. Od czasu wejścia na rynek, programowanie ich stało się znacznie prostsze. Na początku, trzeba było używać assemblera żeby zaprogramować proste układy mikroprocesorowe – zajmowało to stosunkowo dużo czasu, tworzenie prostych projektów mogło zajmować do kilku dni. Następnie pojawiło się avr-gcc, a razem z nim programowanie mikrokontrolerów stało się o wiele prostsze i szybsze. Na coś, na co trzeba było poświęcić godziny w Asemblerze, wystarczyło parę minut w C. Później pojawiło się Arduino – platforma, razem z frameworkiem, do tworzenia programów przeznaczonych na mikrokontrolery, pozwalająca pisać kod znacznie łatwiej niż w C – nie trzeba było znać dokładnych możliwości procesora, żeby tworzyć dla niego kod. Przejście z C na Arduino było ułatwieniem pokroju przejścia z Asemblera na C. Programiści i hobbysci dostali kolejną warstwę abstrakcji, oddzielającą ich od sprzętu, dzięki czemu mogli martwić się mniej o hardware i zająć się tworzeniem software'u.

Nie jest to jednak rozwiązanie idealne. Dodatkowa warstwa abstrakcji wprowadziła dodatkowe koszty. Przejście na „wyższy” poziom często niesie ze sobą koszty wydajnościowe – nie zawsze jest możliwe napisać coś w C++'ie, co będzie dokładnie tak samo wydajne jak w C, ale w idealnych warunkach możemy się bardzo mocno do tego zbliżyć. Różnica w tej wydajności może nie być widoczna, czasami kod C++'owy może być nawet wydajniejszy od kodu w C, ale może to też działać w drugą stronę – wszystko zależy od tego, czy potrafimy wykorzystać możliwości jakie daje nam język w którym piszemy, żeby zachować równowagę między abstrakcją a wydajnością.

---

<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, Koło Naukowe Elektroników „MICROCHIP”

Framework Arduino daje do dyspozycji stosunkowo wysoki poziom abstrakcji, jak na standardy mikrokontrolerów. Znacznie ułatwia to szybkie tworzenie projektów w oparciu o wspierane przez niego platformy. Zaczyna to być wadą w momencie, w którym narzut wydajnościowy staje się odczuwalny. Duże projekty mają w sobie dużo kodu, a biorąc pod uwagę możliwości obliczeniowe oraz pamięciowe AVRów, dużo kodu może generować dużo problemów wydajnościowych które mogą być ciężkie w rozwiązaniu. Dodatkowym problemem będzie trudność w debugowaniu kodu – zazwyczaj nie ma bezpośredniego wglądu w pamięć, nie można prześledzić krok po kroku tego, co się dzieje w kodzie bez odpowiednich narzędzi, można jedynie przewidywać i optymalizować, oraz debugować w miarę możliwości używając innych rozwiązań.

Oprócz tego, jeśli programista nie zwraca większej uwagi na jakość kodu, to szybko może on stać się trudny do zarządzania – czyli ciężki do czytania i analizowania tego co się w nim dzieje, co generuje kolejną klasę problemów, które mogą być bardzo odczuwalne – nie tylko na platformach typu AVR.

Ta publikacja, przeznaczony dla osób, które nie mają na co dzień styczności z językiem C++, lub nie śledzących rozwoju tego języka, ma na celu pokazanie kilku możliwości i technik oraz porad, które można zastosować, żeby lepiej wykorzystać potencjał tego języka, z wyszczególnieniem standardu C++14.

## 2. TECHNIKI TWORZENIA OPTYMALNEGO I WYDAJNEGO KODU

### **CONST CORRECTNESS ORAZ WYRAŻENIA STAŁE**

Kompilator języka C++ dobrze radzi sobie ze stałymi, ponieważ może wtedy przyjąć więcej założeń na temat kodu i zastosować lepszą optymalizację. Na dodatek, częste używanie stałych może działać jako zabezpieczenie przed popełnieniem przypadkowego, niezamierzonego błędu – głównie modyfikowaniem tego co nie powinno być modyfikowane. I ostatecznie, część stałych rzeczy może zrobić podczas kompilacji, co jest bardzo efektywne i – co najważniejsze – zamienia koszty obliczeń w czasie działania programu, na obliczenia wykonywane podczas kompilacji.

### **CONST CORRECTNESS**

W wolnym tłumaczeniu, *poprawność stałych*, to wbrew pozorom całkiem dobre potoczne wyjaśnienie tego, na czym to polega. Ta zasada mówi, że jeśli coś może lub powinno być stałe – należy je takim uczynić. Pozwala to kompila-

torowi na agresywniejsze optymalizacje oraz zmniejsza lub też eliminuje ryzyko błędu ludzkiego w postaci przypadkowego nadpisania wartości zmiennej. Jest to jedna z kluczowych, a nawet podstawowych zasad pisania efektywnego i poprawnego kodu w języku C++ na wszelkich platformach.

Przykładowo, założmy że programista chce stworzyć funkcję która przyjmie jako argument referencję do obiektu reprezentującego żyroskop i zwróci dane odczytane z niego w postaci struktury. Dane będą trzymane w zwykłych polach obiektu *x*, *y*, *z*. Dodatkowo, założmy że programista napisał tą funkcję nieoptymalnie.

```
GyroData packGyroData(Gyro &g) {
    GyroData d;
    d.x = g.x;
    d.y = g.y;
    d.z = g.z;
    return d;
}
```

Gdzie można popełnić błąd w takiej prostej funkcji? Można na przykład popełnić banalną literówkę, myląc *d* z *g*, co spowoduje że ta funkcja zacznie robić rzeczy których zdecydowanie nie powinna – zmodyfikuje stan obiektu do którego odnosi się referencją, co może spowodować nieprzewidywalne konsekwencje. Jak można się przed tym zabezpieczyć? Oczywiście, jednym z rozwiązań jest zmiana nazw zmiennych, ale na początku programista powinien zrobić coś jeszcze – zastosować *const correctness* poprzez zmianę typu przekazywanego argumentu.

```
GyroData packGyroData(Gyro const& g) {
    GyroData d;
    d.x = g.x;
    d.y = g.y;
    d.z = g.z;
    return d;
}
```

Ten zabieg spowodował, że obiekt *g* w funkcji *packGyroData* jest niemutowalny – nie może być zmieniony w ciele tej funkcji. Jakakolwiek jawna zmiana

jego wartości w tej funkcji spowoduje błąd kompilacji. Dodatkowo, kompilator jest w stanie *potencjalnie* lepiej zoptymalizować ten kod w pewnych przypadkach.

W ramach ciekawostki, alternatywnie można napisać tę funkcję również w taki sposób (zakładając że struktura spełnia warunki dla agregacyjnej inicjalizacji):

```
GyroData packGyroData(const Gyro &g) { return GyroData{g.x, g.y, g.z}; }
```

Innym przypadkiem, gdzie używanie *const* może pomóc w uniknięciu bardzo ciężkiego do diagnozy błędu jest użycie go w funkcjach które przyjmują wskaźniki. Przykładem może być taka funkcja:

```
void doSomething(Object* x)
```

Co tutaj może pójść nie tak? Po pierwsze, funkcja ta może zmodyfikować oryginalny obiekt do którego odnosi się wskaźnik. Jeśli nie powinna tego robić, nie należy dawać jej takiej możliwości – powinno się zastosować *const*:

```
void doSomething(const Object* x)
```

W ten sposób funkcja nie może zmienić obiektu *x* poprzez ten wskaźnik, jest w stanie jedynie odczytywać dane z niego (poprzez pola, lub metody stałe).

Ale to nie wszystko. Nadal jest tutaj miejsce na poprawki – funkcja może zmienić adres przekazanego do niej wskaźnika. Prawdopodobieństwo że programista się pomyli i przypadkowo to zrobi jest niewielkie, ale lepiej zapobiegać niż naprawiać błędy. Można łatwo uniemożliwić kompilację niepoprawnego w ten sposób kodu (mimo wszystko, prawdopodobnie lepszym rozwiązaniem niż *const* w takim wypadku jest użycie referencji):

```
void doSomething(Object const* x)
```

Powyższe techniki można połączyć, w celu stworzenia niemutowalnego wskaźnika na niemutowalny obiekt.

```
void doSomething(const Object const* x)
```

Ten zapis może wydawać się skomplikowany – takie konstrukcje najłatwiej czyta się od prawej do lewej [1].

- *Object\* x* – *x* jest wskaźnikiem typu *Object* – zarówno wskaźnik jak i obiekt jest modyfikowalny
- *const Object\* x* – *x* jest wskaźnikiem stałej instancji typu *Object* – nie można zmodyfikować obiektu na który wskazuje wskaźnik, ale można zmodyfikować sam wskaźnik
- *Object const\* x* – *x* jest stałym wskaźnikiem typu *Object* – nie można zmodyfikować wskaźnika, ale można modyfikować obiekt
- *const Object const\* x* – *x* jest stałym wskaźnikiem na stałą instancję typu *Object* – nie można modyfikować ani obiektu ani wskaźnika.

## METODY STALE

Gdy projekt tworzy się w oparciu o paradygmat obiektowy, to na pewno znajdują się w nim klasy które będą w sobie zawierać pewne dane. Przykładowo - klasa, która jest interfejsem dla zestawu czujników poziomów gazów - metanu, LPG i wodoru. Podstawowa struktura takiej klasy może wyglądać w ten sposób:

```
class GasSensors {
public:
    explicit GasSensors(int LPGPin, int MethanePin, int HydrogenPin);

    void readData();

    // Piny na których znajdują się czujniki
    int pinLPG, pinMethane, pinHydrogen;
    // Odczytane wartości
    int levelLPG, levelMethane, levelHydrogen;
};
```

Ten szkielet ma bardzo dużo miejsca na ulepszenia. Po pierwsze, pola są bezpośrednio wystawione jako publiczne. Nie jest to najlepsze podejście do tworzenia klas z dwóch powodów – uzależnia się w ten sposób interfejs od implementacji, czyli wprowadza się założenie że wartość odczytana z czujnika zawsze będzie trzymana w tej zmiennej w klasie ale nie można jeszcze w stanie wywnioskować w jakiej jednostce będzie trzymana (procenty? Konkretnie warto-

ści?). Jeśli programista będzie kiedyś chciał to zmienić, jest ograniczony – albo będzie zmuszony do zmiany sposobu działania funkcji `readData`, albo będzie musiał przepisywać cały kod na nowy interfejs. Na dodatek, można zmienić wartości tych pól bezpośrednio z dowolnego miejsca w kodzie w którym istnieje obiekt tej klasy – a w tym przypadku mogło by to przełamać niezmienniki tej klasy [3]. Te dwa problemy można w łatwy sposób rozwiązać, poprzez oddzielenie interfejsu od implementacji, czyli stworzeniu metod które pozwolą uzyskać kontrolowany dostęp do pól, które zostaną ukryte przed zewnętrznym otoczeniem.

```
class GasSensors {
public:
    explicit GasSensors(int LPGPin, int MethanePin, int HydrogenPin);

    void readData();

    void setLPGPin(int LPGPin);
    void setMethanePin(int MethanePin);
    void setHydrogenPin(int HydrogenPin);

    int LPGLevel();
    int MethaneLevel();
    int HydrogenLevel();

private:
    // Piny na których znajdują się czujniki
    int pinLPG, pinMethane, pinHydrogen;
    // Odczytane wartości
    int levelLPG, levelMethane, levelHydrogen;
};
```

Tym sposobem, został ograniczony dostęp do zmiennych, zachowując pełną funkcjonalność klasy, dzięki czemu jest bezpieczniejsza w użyciu. Gdzie w takim razie posłużyć się *const correctness*?

Metody które są *getterami* (pobierają wartości z obiektu), oraz wszelkie inne które nie modyfikują bezpośrednio danych, wypada oznaczyć jako *metody stałe*.

W tym przypadku takimi metodami powinny być *LPGLevel*, *MethaneLevel* i *HydrogenLevel*.

```
int LPGLevel() const { return levelLPG; }
int MethaneLevel() const { return levelMethane; }
int HydrogenLevel() const { return levelHydrogen; }
```

W ten sposób, kod tych metod nie może modyfikować wewnętrznego stanu obiektu (przy próbie zrobienia tego, nastąpi błąd kompilacji). Z założenia te funkcje mają jedynie odczytywać stan obiektu, więc wszystko jest w porządku, kod jest bezpieczniejszy a kompilator może dokonać więcej potencjalnych optymalizacji.

Może tutaj pojawić się wątpliwość czy *takie pośrednie odnoszenie się do zmiennych przez funkcje nie będzie wolniejsze?*

Nie, nie powinno być wolniejsze. Kompilator potrafi wykonywać dobre optymalizacje (w tym wypadku, prawdopodobnie nastąpi *copy elision* [2]), więc nie należy się o to martwić. Poza tym, takie szukanie miejsca na mikrooptymalizacje bez uprzednich testów i benchmarków kodu to *przedwczesna optymalizacja* która może się okazać stratą czasu i wprowadzić więcej problemów do kodu.

## CONSTEXPR – WYRAŻENIA STAŁE

W przypadku stałych, dla typów fundamentalnych (na przykład `int` lub `double`) różnica między:

```
const int x = 10;
a
constexpr int x = 10;
```

najprawdopodobniej nie będzie istnieć, ponieważ w tak trywialnych przypadkach kompilator zazwyczaj *inline'uje* (wstawia bezpośrednio w kod) wartości zmiennych oznaczonych zarówno jako *const* jak i *constexpr*. Wyrażenia stałe mają również pewne poważne ograniczenie – nie mogą być typu czegoś, co nie ma odpowiedniego konstruktora oznaczonego *constexpr*. Oznacza to, że na przykład nie można stworzyć instancji `std::string` która będzie wyrażeniem stałym, ponieważ `std::string` nie ma odpowiedniego konstruktora.

Innymi słowy, **const** oznacza że coś jest stałe. **Constexpr** oznacza że coś jest nie tylko stałe, ale również możliwe do obliczenia w czasie kompilacji. Jest to



bardziej restrykcyjne ograniczenie, które pozwala kompilatorowi wykonać agresywniejsze optymalizacje.

W przypadku funkcji *constexpr*, w standardzie C++11 można w nich stosować tylko podstawowe konstrukcje języka – takie funkcje mogły zawierać tylko *typedefy*, deklaracje i dyrektywy *using*, *static\_assert* oraz dokładnie jeden *return* [4]. Można w nich wykonywać tylko podstawowe działania na zmiennych prostych typów. Przykładowym zastosowaniem takich wyrażeń jest rekurencyjne obliczanie silni w czasie kompilacji:

```
constexpr int factorial(int n) {  
    return n <= 1 ? 1 : (n * factorial(n - 1));  
}
```

W standardzie C++14 wyrażenia te zostały ulepszone, dzięki czemu można w nich umieszczać deklaracje zmiennych, pętle i bardziej złożone instrukcje warunkowe. Przykładem jest obliczanie wartości sinusa z użyciem szeregu Taylora w czasie kompilacji:

```
#include <iostream>  
  
constexpr double PI = 3.14159265359;  
  
template <typename T>  
constexpr T factorial(T n) {  
    return n <= 1 ? 1 : (n * factorial(n - 1));  
}  
  
template <typename T>  
constexpr T power(T a, T x) {  
    if (x == 0) return 1;  
    T r = 1;  
    for (T i = 0; i < x; i++) {  
        r *= a;  
    }  
    return r;  
}
```

```
template <typename T>
constexpr T absolute(T x) {
    return x > 0 ? x : -x;
}

constexpr double sin(double x, double epsilon) {
    double r = x, t = x;
    for (int n = 1; absolute(t) > epsilon; n++) {
        t = power<double>(-1, n) *
            (power<double>(x, (2 * n) + 1) / factorial<double>((2 * n) + 1));
        r += t;
    }

    return r;
}

int main() { std::cout << sin(PI / 180, 0.00000001) << std::endl; }
```

Mimo tego że kodu jest tutaj stosunkowo dużo, to w finalnym kodzie – po włączeniu optymalizacji kompilatora – pojawi się jedynie funkcja main i przybliżona wartość sinusa (w tym przypadku 0.0174524).

### **PRZYKŁADOWE ZASTOSOWANIE – WYKORZYSTANIE *CONSTEXPR* ZAMIAST STAŁEJ W KLASIE**

Załóżmy że programista tworzy klasę w której chce trzymać pewną stałą wymaganą do jej działania, oraz chce tą stałą udostępnić w pewien sposób osobom korzystającym z obiektu tej klasy. Można taki efekt uzyskać na kilka sposobów:

1. Poprzez stworzenie (statycznej) stałej publicznej w ciele klasy
2. Poprzez utworzenie funkcji która będzie zwracać daną stałą.

Rozpatrzmy za i przeciw obu sytuacji. Pierwsza wydaje się intuicyjna, szczególnie dla początkujących programistów, ale jest z nią pewien problem – nie jest to rozwiązanie skalowalne. W momencie w którym programista będzie chciał zmienić w jakikolwiek sposób reprezentację stałej (może nie chce żeby była stała? Może chce uzależnić ją od innych stałych?), będzie musiał jakoś zmodyfikować jej definicję. Ta modyfikacja być może pociągnie za sobą kolejne,

w miejscach w których ją wykorzystał. Tworzy to problem o złożoności rosnącej liniowo wraz z ilością kodu.

Rozwiązać go można poprzez wykorzystanie funkcji która będzie zwracać wartość stałej. Uzyskuje się wtedy rozdzielenie implementacji od reprezentacji, ponieważ w funkcji może znajdować się cokolwiek – wartość liczbowa, wzór, obliczenia – ważne jest jedynie to, żeby zwracała ona odpowiednią wartość. Jest to znacznie lepsze i elastyczne rozwiązanie, a ponadto oszczędza na wielkości programu. Zawierając powyższe rozważania w krótkim przykładzie, powinno się preferować:

```
class C {  
public:  
    constexpr int x() { return 123; }  
};
```

nad

```
class C {  
public:  
    const int x = 123;  
};
```

### **STATIC\_CAST – BEZPIECZNIEJSZE RZUTOWANIA TYPÓW**

W języku C standardowym sposobem rzutowania typów jest użycie tak zwanego *rzutowania w stylu C*. Język C++ oferuje swoje własne operatory rzutowania, które powinno się preferować. Jednym z najczęściej wykorzystywanych do rzutowań operatorów jest *static\_cast* [3].

### **SPRAWDZANIE TYPÓW PODCZAS KOMPILACJI**

To najważniejsza zaleta używania *static\_cast* (oraz pozostałych *cast*’ów) nad rzutowaniami w stylu C. Przyjmijmy taki kod:

```
int* x = new int(10);  
double* y = (double*)x;
```

Ten kawałek kodu nie zwróci żadnego błędu, chociaż powinien – jeśli odpowiednio skonfigurowany jest proces kompilacji, to pokaże się jedynie ostrzeżenie. Zachodzi tutaj próba rzutowania wskaźnika na wartość typu *int*, na wskaźnik na wartość typu *double*. Istnieje kilka powodów przez które ten kod jest nieprawidłowy. Po pierwsze, typ *int* i *double* nie muszą mieć tej samej wielkości w pamięci. Typ *double* jest zazwyczaj większy (pod architekturą x86 ma typowo 8 bajtów, *int* ma typowo 4 bajty, natomiast pod architekturą AVR *double* może mieć 4 bajty a *int* 2 bajty). Rzutowanie wskaźnika mniejszego typu na wskaźnik większego typu skutkuje tym, że przy próbie dostępu do danych spod takiego wskaźnika program odwoła się do większej ilości pamięci niż powinien, co może skutkować jego *crashem* – takie błędy mogą być **bardzo** nieprzyjemne do debugowania pod AVRami. Po drugie, typ *int* i *double* mają zupełnie inną reprezentację w pamięci (*int* może być standardowo zapisany w systemie U2, a *double* może być reprezentowany w standardzie IEEE 754 [5]), a z racji że rzutowanie zachodzi tylko dla wskaźników, a nie wartości, to zostaną odczytane nieprzewidywalne dane zamiast liczby (jeśli odczytywanie się powiedzie).

Użycie *static\_cast* eliminuje możliwość popełnienia takiego błędu.

```
int* x = new int(10);
double* y = static_cast<double*>(x);
```

W tym wypadku, kod się nie skompiluje. Kompilator wyświetli *error: invalid static\_cast from type 'int\*' to type 'double\*'*. *static\_cast* sprawdza czy rzutowanie jest bezpieczne podczas kompilacji – nie wprowadza żadnego nakładu w trakcie działania programu, a pozwala uczynić kod bezpieczniejszym i chroni przed popełnieniem krytycznego błędu.

## RZUTOWANIA SĄ BARDZIEJ WIDOCZNE

Ze względu na składnię rzutowań w stylu C, wyszukiwanie ich i sprawdzanie oraz ewentualna refraktoryzacja może się okazać czasochłonna. Natomiast *static\_cast* bardzo łatwo wyszukać w kodzie. Dodatkowo, do dyspozycji jest kilka rzutowań które pozwalają określić co dokładnie robimy – oprócz *static\_cast* jest również *dynamic\_cast* do rzutowania obiektów poprzez hierarchię dziedziczeń, *reinterpret\_cast* który re-interpretuje wartość na inny typ, oraz *const\_cast* za pomocą którego można manipulować modyfikatorem *const*.

## KIEDY UŻYWAĆ `STATIC_CAST`?

`static_cast` powinien być wykorzystywany do większości rzutowań kompatybilnych typów – zarówno prostych, jak i obiektów. Wyjątkowymi sytuacjami, gdzie powinno się wykorzystywać inne rzutowania, są rzutowania poprzez hierarchię klas (`dynamic_cast`), rzutowania z/do typów stałych (`const_cast`), oraz bezpośrednie rzutowania reprezentacji danych (`reinterpret_cast`). Każde z tych rzutowań wykonuje swoje sprawdzenia podczas kompilacji, żeby upewnić się że jest bezpieczne.

## 3. DODATKOWE NARZĘDZIA DOSTĘPNE W STANDARDZIE

### AUTO – AUTOMATYCZNE ROZPOZNAWANIE TYPÓW

Ze względu na to, iż C++ jest językiem statycznie typowanym, w teorii zawsze trzeba wyraźnie zaznaczać jakiego typu chcemy użyć, przy każdej deklaracji i definicji. Można jednak wykorzystać możliwość automatycznego wykrywania typów przez kompilator używając typu *auto* [6].

```
auto x = 12;  
auto f() → int { return 42; }
```

W pierwszym przypadku, *auto* służy jako *placeholder* dla typu. Po kompilacji zostaje zamienione na docelowy typ (w tym przypadku int), którego wartość została przypisany zmiennej. Nie można oczywiście zdefiniować zmiennej typu *auto* bez inicjalizacji.

Drugi przypadek to przykład składni *trailing return*, czyli umieszczania typu zwracanego przez funkcję za jej nazwą. Jest to przydatne głównie wtedy, kiedy zwracany typ zależy od szablonu, lub jest złożony, ale mimo wszystko *auto* nie pozwala go ominąć (w standardzie C++11)

Dodatkową uwagę należy zwrócić na to, że *auto* jest zamieniane na nazwę typu bez modyfikatorów (`const`, `*`, `&`). Trzeba je ręcznie dodać, żeby zdefiniować wskaźnik, referencję, lub stałą.

Używanie *auto* ma swoje wady i zalety. Znaczącą zaletą jest to, że w przypadku złożonych typów (na przykład wskaźników na funkcje lub typów szablonowych) można oszczędzić na czasie pisania kodu, oraz ignorować to jak ma dana konstrukcja wyglądać, tylko użyć tego *placeholdera*. Niestety, nadużywanie może powodować nieczytelność kodu, a w skrajnych przypadkach *undefined*

*behaviour* [7], dlatego w przypadku prostych typów, czasami warto przy nich pozostać.

### ENUM CLASS – SILNIE TYPOWANE ENUMERACJE

Język C++ odziedziczył po języku C proste enumeracje:

```
enum X { A = 0, B, C, D };
```

Mają one jednak dwie „wady”:

- Nie wprowadzają własnego zakresu – deklaracja takiej enumeracji w zakresie globalnym powoduje stworzenie czterech symboli: A, B, C oraz D – również w zakresie globalnym.
- Są bezpośrednio konwertowalne z/do typów liczbowych.

Druga wada może nie wydawać się poważna, ponieważ można tej właściwości użyć dla czystej wygody, ale dobry styl języka sugeruje żeby wszelkie konwersje między typami wykonywać jawnie (z użyciem odpowiedniego rzutowania).

W standardzie C++11 pojawiła się alternatywa, pozbawiona tych wad – *enum class*:

```
enum class X { A = 0, B, C, D };
```

Różnice w wykorzystaniu wyglądają następująco:

- Żeby odnieść się do danego elementu w enumeracji, w przypadku *enum* wystarczy nazwa elementu. W przypadku *enum class*, należy dodatkowo podać nazwę enumeracji, przykładowo. `X::A`
- Konwersja z *enum* na wartość liczbową może odbywać się niejawnie lub jawnie. Konwersja z *enum class* musi się odbyć jawnie, używając na przykład `static_cast: int a = static_cast<int>(X::A);`
- Bezpośrednia konwersja z wartości liczbowej na *enum* jest dozwolona, na *enum class* nie – trzeba użyć instrukcji warunkowej (switch/if) i jawnie porównywać wartości.

Przykładowo:

```
enum class X {
    A = 0, B, C
};
```

```
int getX(X num) {  
    switch(num) {  
        case X::A:  
            return 0xA;  
        case X::B:  
            return 0xB;  
        case X::C:  
            return 0xC;  
    }  
}
```

Niezależnie jednak od tego, czy programista wykorzysta zwykłe enumeracje, czy enumeracje z zakresem, warto je preferować nad instrukcje preprocesora (`#define`) [8]. Mieszanie kodu z instrukcjami preprocesora jest bardzo popularne w przypadku kodu na platformy AVR, ale powinno się tego unikać, między innymi ze względu na brak typów wartości zdefiniowanych poprzez `#define`, brak możliwości dodawania modyfikatorów (`const`), globalny zakres oraz możliwość przypadkowego nadpisania ich bez żadnego komunikatu zwrotnego od kompilatora.

#### 4. PODSUMOWANIE

Język C++, a w szczególności jego nowoczesne standardy (C++11, C++14, C++17) posiadają potężne narzędzia które pozwalają tworzyć wydajny oraz bezpieczny kod dla dowolnej platformy. Publikacja ta przedstawia jedynie ich małą część, ale najbardziej kluczową oraz najprostszą w zastosowaniu, nie wprowadzającą nakładu wydajnościowego, a nawet go zmniejszającą. Częste stosowanie stałych umożliwia kompilatorom stosowanie ściślejszej optymalizacji, ponieważ mogą przyjąć więcej założeń na temat kodu. Oddzielanie implementacji od reprezentacji to jedna z podstawowych zasad tworzenia jakościowego kodu obiektowego, ze względu na to że daje programiście do dyspozycji znacznie większą elastyczność i zmniejsza ryzyko że będzie musiał refraktoryzować znaczne ilości kodu przez jedną zmianę w założeniach projektowych. Jawne rzutowania pomagają utrzymywać czystość kodu, oraz stanowią barierę ochronną przed popełnieniem błędu przy konwersji typów. Enumeracje oraz stałe *constexpr* są bardzo dobrą alternatywą dla definicji prekompilatora, ponie-

waż posiadają swój własny typ oraz uczestniczą w ściślejszym procesie sprawdzania kodu przez kompilator oraz linter.

## LITERATURA

- [1] Wpis w FAQ standardu C++ na temat *const correctness*, <https://isocpp.org/wiki/faq/const-correctness#const-ptr-vs-ptr-const>, (dostęp: 29.05.2018)
- [2] Wpis w referencji języka C++ o *copy elision*, [https://en.cppreference.com/w/cpp/language/copy\\_elision](https://en.cppreference.com/w/cpp/language/copy_elision), (dostęp: 29.05.2018)
- [3] Stroustrup B., *Język C++*, *Kompendium Wiedzy*, wydanie IV, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2014
- [4] Wpis w referencji języka C++ o *constexpr*, <http://en.cppreference.com/w/cpp/language/constexpr>, (dostęp: 29.05.2018)
- [5] Wpis w referencji języka C++ o formacie i wielkościach typów liczb zmiennoprzecinkowych, [http://en.cppreference.com/w/cpp/language/types#Floating\\_point\\_types](http://en.cppreference.com/w/cpp/language/types#Floating_point_types), (dostęp: 29.05.201)
- [6] Meyers S., *Effective Modern C++*, O'Reilly, 2015
- [7] Artykuł na temat tego, jak nadużycie typu *auto* może spowodować *undefined behaviour*, <https://www.fluentcpp.com/2018/10/30/case-where-auto-leads-to-undefined-behaviour/>, (dostęp: 09.11.2018)
- [8] Meyers S., *Effective C++*, Pearson Education, 2008



# INFORMACJE O VIII SYMPOZJUM NAUKOWYM ELEKTRYKÓW I INFORMATYKÓW

## ORGANIZATORZY SYMPOZJUM

*Koło Naukowe Elektryków „NAPĘD i AUTOMATYKA”*

*K.N. Informatyki „PENTAGON”*

*K.N. Materialoznawstwa Elektrycznego i Techniki Wysokich Napięć „MELJON”*

*K.N. Elektroekologów „ELMECOL”*

*K.N. SEP przy Politechnice Lubelskiej*

*K.N. Elektroników i Mechatroników „SEMICON”*

*Koło Zakładowe SEP przy Politechnice 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. PL*

*dr hab. inż. Ryszard Goleman, prof. PL*

*dr hab. Stanisław Grzegórski, prof. PL*

*dr hab. inż. Wojciech Jarzyna, prof. PL*

*dr hab. inż. Piotr Kisała, prof. PL*

*dr hab. inż. Tomasz Klepka*

*dr hab. inż. Jan Kolano, prof. PL*

*dr hab. inż. Andrzej Kotyra, prof. PL*

*dr hab. inż. Jerzy Montusiewicz, prof. PL*

*dr hab. inż. Joanna Pawlat, prof. PL*

*dr hab. inż. Jarosław Sikora, prof. PL*

*dr hab. inż. Andrzej Smolarz, prof. PL*

*dr hab. inż. Paweł Surdacki, prof. PL*

*prof. dr hab. inż. Andrzej Wac-Włodarczyk*

*prof. dr hab. inż. Waldemar Wójcik*

*dr hab. Tomasz Zientarski, prof. PL*

*dr hab. inż. Paweł Żukowski, prof. PL*

## KOMITET ORGANIZACYJNY SYMPOZJUM

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

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

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

*dr hab.inż. Tomasz Kołtunowicz – t.koltunowicz@pollub.pl*

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

*dr inż. Zbigniew Polecki – z.polecki@pollub.pl*

SPONSORZY I INSTYTUCJE WSPIERAJĄCE  
VIII SYMPOZJUM NAUKOWE  
ELEKTRYKÓW I INFORMATYKÓW



*Dziękujemy !*

# PATRONI VIII SYMPOZJUM NAUKOWEGO ELEKTRYKÓW I INFORMATYKÓW

Patronat Lubelskiego Oddziału Stowarzyszenia Elektryków Polskich



Patronat Jego Magnificencji Rektora Politechniki Lubelskiej



Patronat Dziekana Wydziału Elektrotechniki i Informatyki



Patronat Lubelskiego Koła Polskiego Towarzystwa Informatycznego



Patronat Lubelskiego Oddziału Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją





# POLITECHNIKA LUBELSKA

## WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI I INFORMATYKI

20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 38A

tel. (+ 48) 815384287, tel./fax (+48) 815384646 <http://www.weii.pollub.pl> e-mail: [we.sekretariat@pollub.pl](mailto:we.sekretariat@pollub.pl)



## OFERTA DYDAKTYCZNA WYDZIAŁU

### STUDIA W SYSTEMIE STACJONARNYM I NIESTACJONARNYM

#### I stopień (studia inżynierskie, bez specjalności)

**ELEKTROTECHNIKA**  
**INFORMATYKA**

**MECHATRONIKA** (z Wydz. Mechanicznym)

**INŻYNIERIA BIOMEDYCZNA** (z Wydz. Mechanicznym)

Elektrotechnologie OZE  
Inteligentne technologie w elektrotechnice  
Systemy optoelektroniczne  
Zrównoważona energetyka  
Elektroenergetyka  
Projektowanie urządzeń elektrycznych  
Napędy elektryczne w automatyce przemysłowej  
Inżynieria komputerowa w diagnostyce medycznej  
Elektrotechnika w pojazdach samochodowych  
Power and Measurement (studia w jęz. ang.)  
Энергетика и Электрические измерения (studia w jęz. ros.)

#### II stopień (studia magisterskie)

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



Elektroniczna aparatura i informatyka medyczna  
Technologie wytwarzania w inżynierii biomedycznej

Systemy Mobilne w Mechatronice  
Mechatronika Samochodowa

Aplikacje internetowe  
Eksploatacja systemów informatycznych  
Systemy i aplikacje multimedialne  
Systemy mobilne i techniki multimedialne  
Systemy teleinformatyczne  
Technologie wytwarzania oprogramowania  
Sieci informatyczne  
Systemy analizy danych  
Mobile Application Development (studia stacjonarne w jęz. ang.)  
Mobile Systems and Information Networks (studia stacjonarne w jęz. ang.)

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





Koło Zakładowe Stowarzyszenia Elektryków Polskich  
przy Politechnice Lubelskiej – współorganizator  
VIII Sympozjum Naukowego Elektryków i Informatyków  
SNEiI 2018

ISBN: 978-83-7947-335-9



9 788379 473359