

AUTOMATYCZNE RAMIĘ PODAJĄCE CUKIERKI

ŁUKASZ BACIOR¹, SZYMON CISOWSKI²

^{1,2}*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki,
Katedra Robotyki i Mechatroniki,
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków*

¹*lukbaci@student.agh.edu.pl*, ²*scisowski@student.agh.edu.pl*

SŁOWA KLUCZOWE: ARDUINO, RAMIĘ PODAJĄCE CUKIERKI, ROBOT,
AUTOMATYCZNE RAMIĘ, PROJEKT ARDUINO

STRESZCZENIE

Artykuł dotyczy prac nad budową automatycznego ramienia podającego cukierki. Model rzeczywisty robota został wykonany przy wykorzystaniu prostych elementów elektronicznych i mechanicznych. Sterowanie opiera się o dwa układy ATmega, zaprogramowane przy pomocy środowiska Arduino. Ruch ramienia opracowany został na podstawie zadania kinematyki odwrotnej. Robot został przetestowany w warunkach rzeczywistych na wielu płaszczyznach. W wyniku tych badań okazało się, że działa całkowicie poprawnie, zgodnie z początkowymi założeniami. Autorzy planują dalszy rozwój projektu i wprowadzanie kolejnych ulepszeń.

1. Wstęp

Robot to autonomiczne urządzenie wykonujące określone zadania, kontrolowane przez sztuczną inteligencję, opartą na programie przygotowanym przez człowieka. We współczesnym świecie, maszyny te odgrywają istotną rolę, zastępując ludzi w różnych dziedzinach. Najczęściej roboty wykorzystywane są do prac wymagających dużej precyzji, powtarzalności czy szybkości, a także do prac niebezpiecznych dla człowieka [1].

Jednym z kluczowych rodzajów robotów są roboty przemysłowe, które według definicji są automatycznie sterowanymi maszynami manipulacyjnymi o wielu stopniach swobody. Roboty przemysłowe wykonują precyzyjnie zaprogramowane ruchy i są najczęściej wykorzystywane w lakiernictwie, spawalnictwie, a także służą do załadunku i rozładunku, paletyzacji czy obróbki mechanicznej [2]. Charakterystycznymi elementami tego typu robotów są: manipulator, efektor końcowy (najczęściej jest to chwytak), sterownik, nadgarstek oraz różnego rodzaju sensory.

Głównym tematem niniejszego artykułu jest opis prac nad budową automatycznego ramienia podającego cukierki, które jest niewątpliwie przykładem robota przemysłowego. Składa się ono z obrotowej podstawy, trzech przegubów oraz chwytaka. Głównym zadaniem robota jest pobranie cukierka z miejsca A i dostarczenie go do miejsca B w sposób całkowicie automatyczny. Jediną czynnością wykonywaną przez człowieka jest początkowe podanie współrzędnych kartezjańskich cukierka na klawiaturze i następnie wyrażenie chęci otrzymania cukierka, poprzez aktywację przycisku.

Dodatkowo, aby ramię działało poprawnie, wyposażone jest w szereg sensorów, odpowiadających między innymi za sprawdzanie czy cukierek został pobrany z miejsca, w którym się znajdował. Sterowanie ramienia oparte jest na platformie Arduino, a cały ruch ramienia odbywa się dzięki złożonej i precyzyjnej analizie kinematyki odwrotnej ramienia [3]. W celu pełnej automatyzacji procesu podawania słodczy, zbudowany został podajnik, dostarczający cukierki w odpowiednie miejsce, po uprzednim podniesieniu jednego z nich.

2. Prototyp rzeczywisty

Podstawowym założeniem projektu było opracowanie i zbudowanie prototypu rzeczywistego robota podającego cukierki. Początkowo zdefiniowane zostały trzy główne cele, według których miał przebiegać cały proces badawczy.

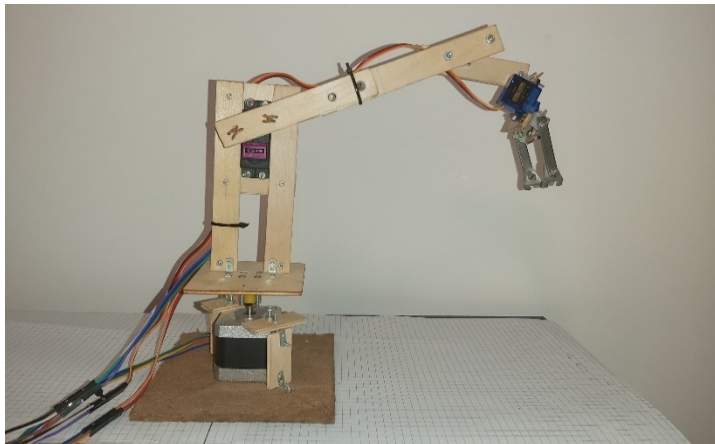
Mianowicie, największy nacisk postawiono na:

- a) pełną automatyzację ruchu robota i dostarczania cukierka;

- b) jak najwyższą skuteczność w podnoszeniu cukierka z danego miejsca;
- c) zabezpieczenie robota przed uszkodzeniami części elektronicznej oraz mechanicznej.

2.1 Wykonanie konstrukcji robota

Konstrukcja robota jest wykonana z elementów drewnianych, metalowych oraz plastikowych i jest przedstawiona na Rys. 1. Robot posiada obrotową podstawę oraz trzy przeguby, umożliwiające poprawne zginanie ramienia. W celu połączenia ze sobą poszczególnych elementów konstrukcji wykorzystano drut, niewielkie metalowe kątowniki oraz śruby M2 i M3. Ramię zostało wykonane z drewnianych szpatulek laryngologicznych, o odpowiednich długościach. Efektor końcowy ma postać chwytaka, składającego się z dwóch metalowych blaszek, zakrzywionych na końcach. Jedna z nich jest unieruchomiona, natomiast druga „domyka się”, przy pomocy zastosowanego napędu. Takie rozwiązanie pozwala znacznie zwiększyć skuteczność podnoszenia cukierka i zapobiec wypuszczeniu go podczas ruchu. Ramię zostało przykręcone do kwadratowej podstawy wykonanej ze sklejki, w celu ustabilizowania konstrukcji. Część elektroniczna robota została umieszczona na płytkach stykowych i znajduje się w odpowiedniej odległości, żeby nie przeszkadzać w poprawnym wykonywaniu ruchu.



Rys. 1 Zdjęcie robota

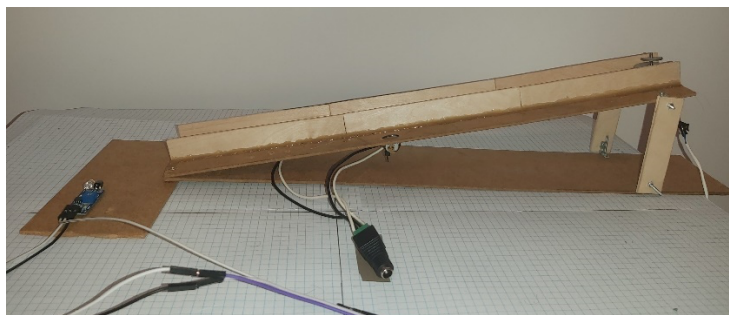
2.2 Napędy zastosowane w ramieniu

Robot wyposażony jest w dwa rodzaje napędów. U podstawy zamocowany jest silnik krokowy NEMA17, który odpowiada za obrót ramienia wokół

własnej osi. Do pozostałej części konstrukcji, przykręcony został on za pomocą plastikowego uchwytu, nałożonego na wał napędowy. Za ruch poszczególnych części ramienia oraz chwytaka odpowiadają serwomechanizmy, o maksymalnym kącie obrotu wynoszącym 180° . W najbardziej obciążonym przegubie został zastosowany serwonapęd TowerPro MG-996R, posiadający metalową zębatkę oraz duży moment obrotowy. Zastąpił on użyty wcześniej napęd, który nie posiadał wystarczająco dużej mocy, aby stabilnie podnosić całą konstrukcję. Dzięki takiemu rozwiązaniu, ramię zostało umocnione i zabezpieczone przed uszkodzeniami mechanicznymi. Chwytek oraz jeden z pozostałych przegubów wyposażone zostały w serwonapędy TowerPro SG-90, charakteryzujące się niewielkimi rozmiarami i stosunkowo małymi momentami obrotowymi, które w naszym przypadku nie wpływają negatywnie na poprawny ruch ramienia. Przegub odpowiadający za ustawienie chwytaka, nie posiada żadnego napędu, ponieważ został on odpowiednio ułożyskowany, aby zawsze mógł grawitacyjnie ustawiać się pionowo w dół.

2.3 Konstrukcja podajnika

Głównym zadaniem podajnika przedstawionego na Rys. 2, jest umieszczenie cukierków w odpowiednim miejscu, bez ingerencji człowieka. Podajnik jest wykonany na wzór równi pochyłej, po której cukierki mogą zjeżdżać samoczynnie, między dwoma ustawionymi równoległe, drewnianymi bandami. Dodatkowo, zjazd cukierków jest przyspieszany, poprzez użycie trzech silników wibracyjnych, zamocowanych wzdłuż równi. Zostały one rozmieszczone tak, żeby maksymalnie wzmocnić emitowane przez nie drgania. Na dolnym końcu równi został zamocowany odpowiedni czujnik, sprawdzający czy dany cukierek opuścił podajnik.



Rys. 2 Zdjęcie podajnika

2.4 Zasada działania

Po włączeniu zasilania na wyświetlaczu pojawia się instrukcja podawania współrzędnych cukierka w przestrzeni. Każdą kolejną wartość, wyrażoną w milimetrach, należy wpisać na klawiaturze i zatwierdzić znakiem „*„. Po podaniu wszystkich współrzędnych należy określić ilość cukierków umieszczonych w podajniku i również zatwierdzić znakiem „*„. W momencie przesłania ostatniej wartości, następuje włączenie silników wibracyjnych, umieszczonych w konstrukcji podajnika. Dodatkowo, na wyświetlaczu zostaje wygenerowany napis informujący o ilości pozostałych cukierków. Gdy jeden z nich opuści podajnik i zostanie wykryty przez czujnik odbiciowy, następuje wyłączenie silników wibracyjnych. Wyrażenie chęci otrzymania cukierka odbywa się poprzez aktywację przycisku, która sprawia, że robot wykonuje odpowiednie obliczenia i porusza się do miejsca określonego wcześniej przez użytkownika. Następnie przy pomocy chwytaka pobiera słodycz, wraca do pozycji początkowej i wypuszcza go. Ilość ruchów, które ramię może wykonać jest ściśle związana z pozostałą liczbą cukierków. W momencie, gdy podajnik jest już pusty, na wyświetlaczu pojawia się komunikat: „Brak cukierków!!!”. Naciskając na klawiaturze przycisk „#” program prosi użytkownika o ponowne zadeklarowanie ilości cukierków, które zostały umieszczone w podajniku. W ten sposób można dołożyć nową partię cukierków, bez konieczności resetowania całego urządzenia.

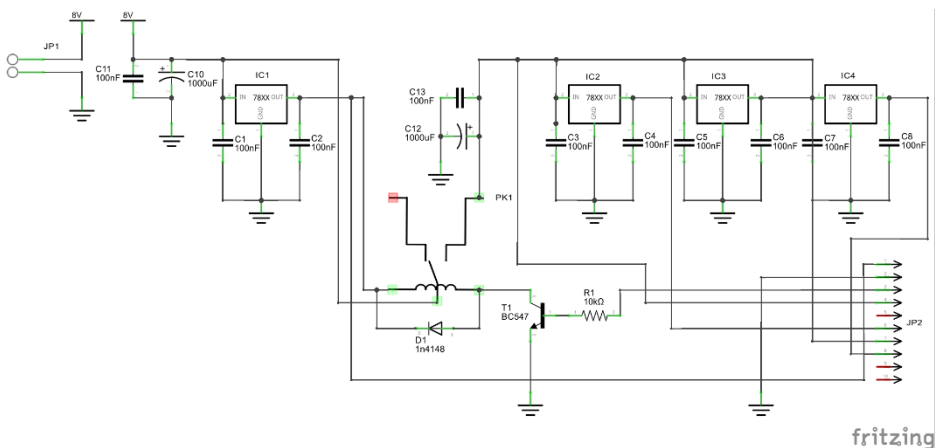
2.5 Zastosowane rozwiązania elektroniczne

Schematy elektroniczne robota oraz podajnika znajdują się na Rys. 3 i 4. Docelowo, cały obwód zasilany jest napięciem 8V, dostarczanym z zasilacza laboratoryjnego, podłączonego do wtyczki oznaczonej jako JP1. Sterowanie robotem oraz podajnikiem opiera się o dwa układy scalone ATmega328P, połączone ze sobą portami komunikacyjnymi RX oraz TX. Oba układy są zaprogramowane przy pomocy płytki Arduino UNO i zamontowane na płycie stykowej.

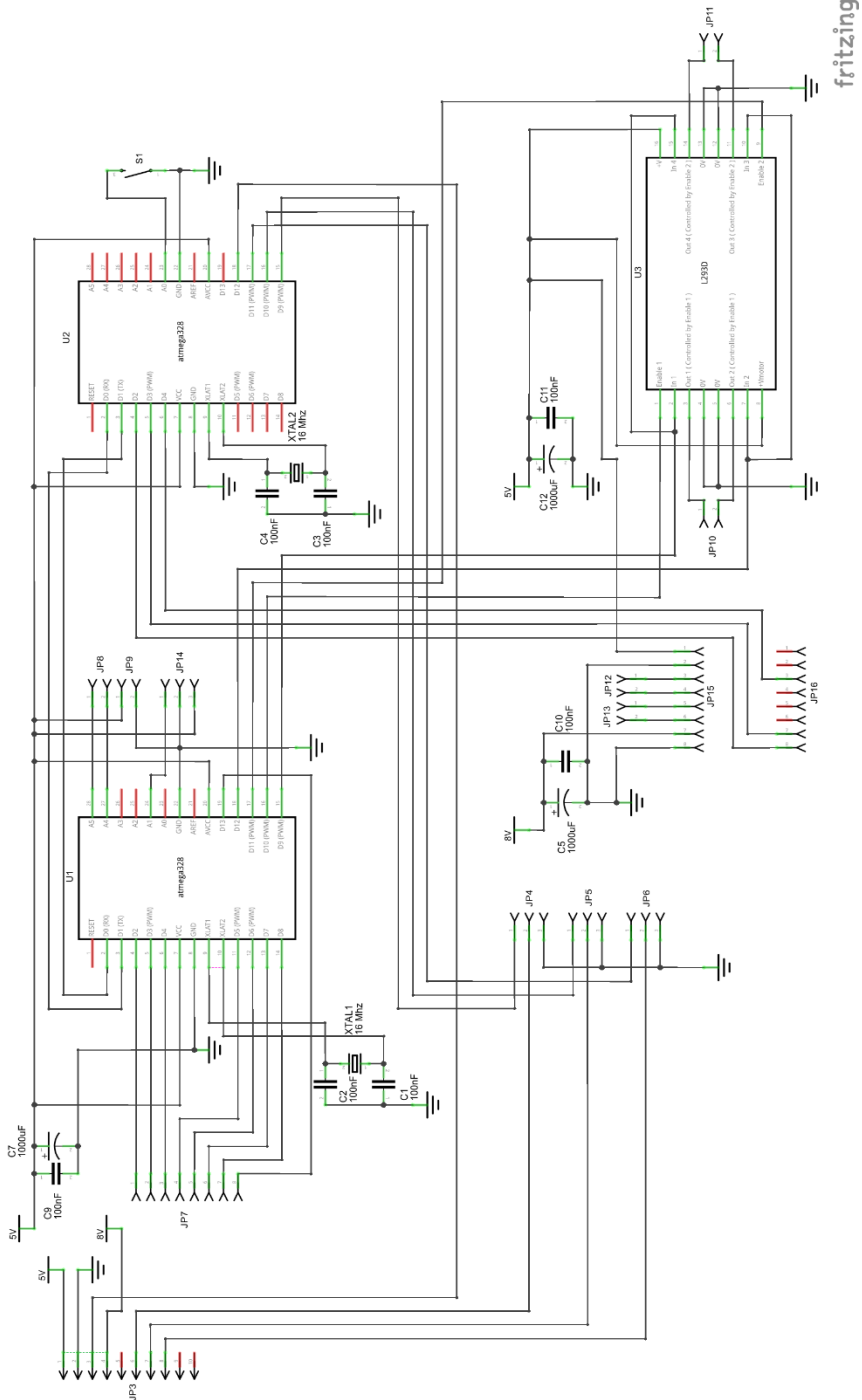
Do jednego z nich, odpowiedzialnego za poprawne działanie podajnika, zostały podłączone: klawiatura membranowa, mostek L293D, konwerter I2C oraz czujnik odbiciowy. Konwerter I2C podpięty do złącz JP8 i JP9, służy do łatwego podłączenia wyświetlacza LCD HD44780, przy użyciu jedynie dwóch pinów- SDA i SCL. Mostek L293D odpowiada za sterowanie trzema silnikami wibracyjnymi (podłączonymi do złącz JP10 oraz JP11), poprzez ustawianie odpowiednich stanów logicznych oraz wysyłanie sygnałów PWM, odpowiadających za prędkości poszczególnych silników. Klawiatura membranowa, posiadająca 16 przycisków została wpięta do wtyczki JP7.

Czujnik odbiciowy IR (złącze JP14), zamocowany u podnóża podajnika, umożliwia monitorowanie pozostałej ilości cukierków w podajniku, poprzez generowanie odpowiednich stanów logicznych na swoich wyjściach.

Do drugiego układu ATmega, odpowiedzialnego ściśle za ruch robota, zostały podłączone: trzy serwonapędy, sterownik silnika krokowego, przycisk oraz przełącznik. Serwomechanizmy, podłączone do wtyczek JP4, JP5 i JP6 sterowane są przy użyciu sygnałów PWM, pochodzących z odpowiednich wyjść układu ATmega. Do sterownika silnika krokowego A4988, umieszczonego w złączach JP15 oraz JP16 został podłączony silnik NEMA17 (JP12 i JP13), odpowiedzialny za obrót podstawy wokół własnej osi. Po wciśnięciu przycisku oznaczonego na schemacie jako S1, układ ATmega wysyła stan wysoki, otwierający kolektor tranzystora T1, w celu załączenia zasilania silników przez przełącznik. Rozwiązanie to zostało zastosowane, z uwagi na niską wydajność prądową tego układu oraz stanowi zabezpieczenie przed ewentualnym jego uszkodzeniem. Dodatkowo została zastosowana dioda prostownicza 1n4148 (D1), zabezpieczająca tranzystor przed zniszczeniem. Zabezpieczenie to jest niezbędne, ze względu na występowanie zjawiska samoindukcji cewki przełącznika, która po odłączeniu generuje wysokie napięcie o przeciwnej polaryzacji. Dioda ta otwiera się jedynie w momencie wysłania przez cewkę impulsu [4]. Do stabilizowania napięcia zostały zastosowane układy LM7805CV, odpowiedzialne za dostarczenie odpowiedniego napięcia do serwomechanizmów oraz części logicznej wszystkich układów scalonych. Liczne kondensatory ceramiczne oraz elektrolityczne o pojemnościach odpowiednio 100nF i 1000µF, zastosowane w obwodzie, służą do filtrowania oraz odsprężania całego zasilania.



Rys. 3 Schemat sekcji zasilania



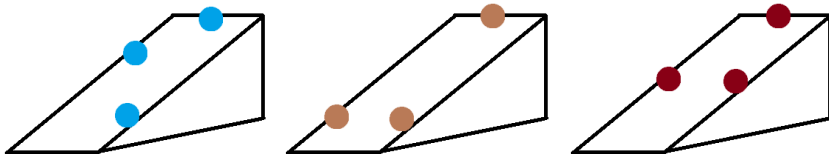
Rys. 4 Schemat układów sterujących

3. Eksperymenty w warunkach rzeczywistych

Testy robota oraz podajnika zostały przeprowadzone w warunkach rzeczywistych, przy wykorzystaniu programu przygotowanego przez osoby z działu programistycznego. Eksperymenty były wykonywane wielokrotnie, a podczas nich, robot był weryfikowany na wielu płaszczyznach. Zostały przetestowane między innymi jego dokładność, siła oraz wytrzymałość.

Początkowe próby polegały na sprawdzeniu możliwości wszystkich napędów zastosowanych w pierwszym prototypie. W wyniku tych obserwacji spostrzeżono, że serwonapęd TowerPro SG-90, zastosowany w najbardziej obciążonym przegubie posiada zbyt mały moment obrotowy i nie jest w stanie podnieść nawet jednego cukierka. W związku z tym kluczowe było wzmocnienie konstrukcji oraz wymiana tego silnika na serwomechanizm TowerPro MG-996R o dużo lepszych parametrach technicznych. Po zamontowaniu nowego napędu oraz ponownym przeprowadzeniu testów, okazało się, że maksymalna waga, jaką może podnieść ramię, wynosi aż około 120g, co w tym przypadku jest bardzo satysfakcjonującym wynikiem.

Kolejne testy dotyczyły podajnika. Głównym celem eksperymentów było sprawdzenie w jakiej konfiguracji należy rozmieścić silniki wibracyjne wzdłuż równi. Pod uwagę zostały wzięte trzy różne możliwości, ukazane na Rys. 5, w których zmieniało się położenie dwóch dolnych silników. Wybór najlepszego ustawienia, został dokonany poprzez pomiar, w jakim czasie cukierek zjedzie z równi. Wyniki testów zamieszczono w Tabeli 1.



Rys. 5 Konfiguracje silników wibracyjnych.

Tab. 1. Pomiary czasów dla poszczególnych konfiguracji.

Konfiguracja 1	Konfiguracja 2	Konfiguracja 3
22,1 s	42,41 s	35,24 s

Na podstawie uzyskanych wyników, jednoznacznie stwierdzono, że konfiguracja nr 1 jest najlepsza, i to właśnie ona została zastosowana w projekcie.

Istotną kwestią było również przetestowanie części elektronicznej, a mianowicie sprawdzenie czy wszystkie zaimplementowane elementy działają

poprawnie. W wyniku obserwacji zauważono, że po włączeniu zasilania układ nie zawsze działał poprawnie. W niektórych przypadkach pojawiały się niekontrolowane ruchy silników odpowiadających za ruch ramienia. Było to spowodowane faktem, iż równoczesne dostarczenie zasilania do silników oraz do układów sterujących, generowało niepotrzebne zakłócenia na wyjściach układu ATmega, odpowiedzialnych za sterowanie wszystkimi silnikami. Problem ten został zażegnany, poprzez dodanie do obwodu przekaźnika, który opóźnia załączenie zasilania dla silników.

Najważniejszym i najtrudniejszym elementem do zbadania była dokładność poruszania się robota. Pomiaru były wykonywane wielokrotnie na specjalnie przygotowanym układzie współrzędnych, który pozwalał na dokładny odczyt położenia danego punktu w przestrzeni. Wyniki jakie uzyskano w czasie badań zostały zawarte w tabeli nr 2.

Tab. 2. Wyniki pomiarowe.

Lp.	Podane x	Podane y	Podane z	Pomiar x	Pomiar y	Pomiar z	Błąd x	Błąd y	Błąd z
1	10	150	15	9	150	14	-1	0	-1
2	80	120	35	85	119	37	5	-1	2
3	130	30	90	133	27	88	3	-3	-2
4	-150	60	42	-152	63	41	-2	3	-1
5	-180	30	20	-181	30	20	-1	0	0
6	-45	90	70	-41	94	69	4	4	-1
7	-60	-90	25	-63	-93	26	-3	-3	1
8	-190	-35	70	-191	-37	67	-1	-2	-3
9	-75	-70	130	-78	-70	127	-3	0	-3
10	60	-95	30	58	-93	32	-2	2	2
11	130	-80	5	125	-83	7	-5	-3	2
12	200	-20	15	185	-23	15	-15	-3	0

Na podstawie powyższej tabeli widać, że wartości zmierzone w czasie eksperymentów różnią się nieznacznie od wartości zadeklarowanych na klawiaturze przez użytkownika. Jedyne pomiar nr 12 wykazuje spore odstępstwo od wartości rzeczywistej. Jest to spowodowane faktem, iż wartości podane, są poza zakresem maksymalnym, jakie robot może osiągnąć. Pozostałe wyniki są stosunkowo dokładne i żaden błąd nie wykracza poza wartość 5mm. Takie rezultaty są zgodne z założeniami początkowymi o dużej skuteczności, ponieważ tak niewielkie odchylenia w żaden sposób nie przeszkadzają w efektywnym podniesieniu cukierka.

4. Wnioski

Niniejszy artykuł przedstawia postępy prac nad budową w pełni zautomatyzowanego robota podającego cukierki. Urządzenie to potrafi na podstawie danych wpisanych przez użytkownika samodzielnie poruszyć się w dane miejsce i wykonać określoną czynność. Tego typu urządzenie można zakwalifikować do grona robotów przemysłowych, które usprawniają procesy technologiczne, wykonując swoje zadania z ogromną precyzją i szybkością. W opisanym projekcie został stworzony model rzeczywisty, który ma za zadanie odzwierciedlić zasadę działania manipulatora przemysłowego.

Na podstawie przeprowadzonych licznych testów można jasno stwierdzić, że robot spełnia wszystkie początkowe założenia projektowe. Największym wyzwaniem podczas realizacji projektu było stworzenie lekkiej, a zarazem trwałej konstrukcji. Po wielu próbach udało się to osiągnąć, ponieważ uzyskany model rzeczywisty cechuje się dużą wytrzymałością mechaniczną oraz siłą, która pozwala na podniesienie znacznie większej masy, aniżeli pojedynczego cukierka. Dodatkowo, podczas modelowania został zastosowany szereg zabezpieczeń elektronicznych, w celu uniknięcia awarii. Na podstawie danych z tabeli 2 można zauważyć, że w granicach swojego zasięgu, robot jest precyzyjny i dokładny. Wartości zmierzone różnią się niewiele od tych wpisanych przez użytkownika. Ponadto, dzięki stworzonemu podajnikowi, cały proces podawania cukierka został zautomatyzowany i odbywa się bez żadnej pomocy człowieka. W związku z osiągnięciem zaplanowanych rezultatów, wyżej przyjęta metoda badawcza może posłużyć do rozwiązywania podobnych problemów projektowych.

Pomimo, że opisany projekt jest już bardzo rozbudowany, to autorzy nie zamierzają kończyć rozwijania dalszych prac w tym obszarze. Zaplanowane są już kolejne udoskonalenia, które zostaną dodane do projektu w niedalekiej przyszłości. Główną cechą jaką autorzy chcą nadać robotowi jest aktywacja głosowa, pozwalająca na interakcję użytkownika z urządzeniem.

Bibliografia

- [1] Wikipedia. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Robot>. [Dostęp: 16.05.2021]
- [2] Promag. <https://przenosniki-promag.pl/roboty-przemyslowe.html>. [Dostęp: 16.05.2021]
- [3] Robotyka. <https://www.robotyka.com/teoria.php/teoria.76>. [Dostęp: 17.05.2021]
- [4] Forbot. <https://forbot.pl/blog/kurs-elektroniki-elementy-stykowe-przekazniki-id4335>. [Dostęp: 17.05.2021]