



**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**  
**WYDZIAŁ INŻYNIERII METALI I INFORMATYKI PRZEMYSŁOWEJ**  
KATEDRA INFORMATYKI STOSOWANEJ I MODELOWANIA

**Praca dyplomowa**  
inżynierska

*Opracowanie, budowa oraz implementacja automatycznego  
urządzenia do nadziewania wyrobów cukierniczych*

*Development, construction and implementation of an automatic  
machine for filling confectionery products*

Autor: ***Piotr Klich***  
Kierunek studiów: **Informatyka Stosowana**  
Opiekun pracy: ***dr inż. Piotr Kustra***

Kraków, rok 2020

## Spis treści

Wstęp.....	4
1. Cel i zakres pracy .....	5
2. Przegląd istniejących rozwiązań .....	6
2.1. Ręczne maszyny do nadziewania .....	6
2.2. Automatyczne maszyny do nadziewania.....	7
3. Wybór podzespołów elektronicznych .....	9
3.1. Mikrokontroler.....	9
3.2. Pompa .....	11
3.3. Sterownik pompy.....	13
3.4. Wskaźnik napelnienia zasobnika.....	13
3.5. Wyświetlacz.....	14
3.6. Czujnik zbliżeniowy .....	15
3.7. Peryferia.....	15
4. Budowa maszyny .....	16
4.1. Schemat elektryczny .....	16
4.2. Wykonanie PCB .....	17
4.3. Obudowa.....	19
4.3.1. Korpus.....	20
4.3.2. Lej cylindryczny .....	21
4.3.3. Wsporniki montażowe .....	22
4.4. Etap drukowania prototypu .....	23
4.4. Analiza wytrzymałościowa korpusu.....	28
4.5. Testowanie przepływu.....	31
5. Implementacja oprogramowania .....	33
5.1. Kabilracja belki tensometrycznej .....	33
5.2. Obsługa wyświetlacza .....	36
5.3. Włączanie pompy .....	37

6. Testowanie maszyny.....	39
7. Kosztorys opracowanego prototypu.....	42
8. Podsumowanie.....	43
Bibliografia.....	44

## Wstęp

W dzisiejszych czasach nieustanna praca nad poprawą jakości, wydajnością i redukcją kosztów to codzienność w firmach produkcyjnych. Zakłady nieustannie szukają sposobów na poprawę wyników i uzyskanie przewagi nad konkurencją. Aktualnie przemysł bez nowoczesnych rozwiązań technologicznych przestaje istnieć.

Kiedy mowa o automatyzacji, zwykle daje to obraz robotów i maszyn, które zastępują zasoby ludzkie w zakładach produkcyjnych. Wiele małych przedsiębiorstw również uważa się, że automatyzacja jest tylko dla dużych zakładów, ponieważ koszty jej wdrożenia dla poszczególnych procesów produkcji znacznie przewyższa budżet rozwoju firmy. Natomiast prawda jest taka, że automatyzacja upraszcza działania może wspierać powtarzające się procesy.

W pracy skupiono się głównie na branży spożywczej, a dokładniej mówiąc na branży cukierniczej i piekarniczej, w której automatyzacja oraz półautomatyzacja procesów produkcji w Polsce nie jest tak bardzo popularna z powodu drogich wdrożeń - zwłaszcza w małych zakładach produkcyjnych. Nacisk na automatyzację wynika z ogólnego niedoboru siły roboczej w piekarniach ze względu na niekorzystne godziny pracy, dlatego też właściciele są zmuszeni do półautomatyzacji powtarzających się etapów produkcji. Idealnym przykładem ilustrującym taki etap jest nadziewanie wyrobów. Wiele zakładów wykonuje ręcznie tę czynność, ponieważ jest to stosunkowo prosta operacja, która wymaga precyzji i często wiąże się ze zmianą produktu lub składnika [1].

Istniejące półautomatyczne maszyny są bardzo drogie w zakupie przez co małe zakłady nie są w stanie pozwolić sobie na ich zakup i są zmuszone do korzystania z ręcznych odpowiedników. Należy jednak podkreślić, że warto inwestować w tego typu urządzenia, ponieważ zapotrzebowanie na niskobudżetowe maszyny jest bardzo duże i wciąż rośnie. Dlatego też autor pracy postanowił wykonać projekt automatycznej maszyny do nadziewania, rozszerzając istniejącą konstrukcję o nowe, usprawniające pracę rozwiązania, która mogłaby być wykorzystana przez małe zakłady produkcyjne oraz średnie w momencie wzmożonej produkcji, np. specjalnej promocji, która by prowadziła do nagłego wzrostu popytu na dany towar lub krótkich serii.

# 1. Cel i zakres pracy

Celem niniejszej pracy jest opracowanie, budowa oraz implementacja automatycznego urządzenia do nadziewania wyrobów cukierniczych. Zdecydowano się na budowę takiej maszyny, ponieważ dostępne maszyny nie oferują tak unikatowych cech, jak zaprezentowana w tej pracy budowa. Mniejsze przedsiębiorstwa w skutek inwestycji w takie maszyny zwiększą wydajność produkcji, zapewniając spójne porcjowanie składników, zmniejszając ilości odpadów, a przede wszystkim odciążą pracowników od pracy fizycznej. Dodatkowo, dzięki zastosowaniu poszczególnych czujników w przyszłości będzie można w pełni zautomatyzować ten proces. Aby zrealizować główny cel pracy postawiono następujące cele szczegółowe:

- Wybór komponentów elektronicznych,
- Opracowanie schematu elektrycznego oraz stworzenie układu na jego podstawie,
- Zaprojektowanie obudowy maszyny,
- Wydrukowanie części obudowy przy pomocy drukarki 3D,
- Analiza wytrzymałościowa obudowy,
- Implementacja oprogramowania sterującego maszyną,
- Testowanie prototypu.

## 2. Przegląd istniejących rozwiązań

Na rynku istnieje wiele firm specjalizujących się w produkcji urządzeń przeznaczonych dla przedsiębiorstw, zajmujących się produkcją wyrobów cukierniczych oraz piekarniczych. W tym rozdziale omówiono szczegółowo dwa typy maszyn do nadziewania, które są wykorzystywane w przemyśle.

### 2.1. Ręczne maszyny do nadziewania

W czasach, gdy elektronika nie zdominowała gałęzi przemysłu, w sprzedaży dostępne były jedynie maszyny ręczne. Nadziewarki nie posiadające żadnych komponentów elektronicznych cechują się nieskomplikowaną konstrukcją oraz prostotą obsługi. Bazę w nich stanowi kilku litrowy pojemnik, wykonany ze stali nierdzewnej, w którym umieszczone jest nadzienie. Pozostałe elementy składowe urządzenia zamontowane są za pomocą śrub do pokrywy, która opiera się na misie. Pompy ręczne działają na zasadach mechaniki płynów [2]. Tłok wyposażony jest w zawór zwrotny i wykonuje ruch pionowy, przesuując się w górę i dół w cylindrze, który również posiada zawór zwrotny. Przykładając siłę do dźwigni pompy powodujemy pionowych ruch aluminiowego ramienia połączonego z tłokiem. Kiedy tłok porusza się w górę, następuje spadek ciśnienia w obrębie cylindra. To powoduje, że nadzienie wpływa do niego, wskutek otwarcia dolnego zaworu zwrotnego. W momencie, gdy tłok porusza się w dół, nadzienie wypychane jest w tym samym kierunku zwiększając ciśnienie. Przez wytworzone ciśnienie dolny zawór zwrotny zamyka się, a zawór tłoka jest otwierany i masa wypływa pod wysokim ciśnieniem przez zamontowaną igłę dozującą. Na rysunku 2.1 zaprezentowany jest przykład ręcznej nadziewarki. Pomimo swojej nieskomplikowanej budowie oraz zasadzie działania, posiadają one kilka wad:

- Nieprecyzyjne nadziewanie,
- Częste zapychanie się tłoków i igieł.



Rysunek 2.1. Ręczna nadziewarka [3]

## 2.2. Automatycznie maszyny do nadziewania

Na rynku istnieją już rozwiązania, które pomagają piekarniom i pokrewnym zakładom przejść od ręcznego nadziewania do półautomatycznego. Przykładem może być chociażby firma Unifiller, specjalizująca się w produkcji specjalistycznych maszyn dla m.in. przemysłu spożywczego, piekarniczego. Maszyny przez nich oferowane są bardzo drogie w zakupie. Cena podstawowego modelu ELF 400 zaprezentowanego na rysunku 2.2 oscyluje w granicy 20000 złoty. Zapewnia precyzyjne nadziewanie i można jej części zdemontować do czyszczenia po skończonej pracy. Pompy pneumatyczne, stosowane w tych maszynach wymagają do pracy kompresora powietrza, co jeszcze bardziej zwiększa koszt inwestycji. Oferowane przez nich maszyny są tworzone z myślą o dużych zakładach produkcyjnych.



Rysunek 2.2. Automatyczna nadziewarka firmy Unifiller [4]

Z kolei polska firma Magorex wykazała się innym podejściem konstrukcyjnym, wprowadzając do sprzedaży zobrazoną na rysunku 2.3 automatyczną maszynę do nadziewania. Obudowa oraz lej o pojemności 14 litrów wykonane są ze stali nierdzewnej. Sama nadziewarka uruchamiana jest dzięki czujnikowi zbliżeniowemu, a czas podawania nadzienia sterowany jest elektronicznie przez panel umieszczony w przedniej części obudowy. Wykorzystana pompa napędzana jest silnikiem elektrycznym o mocy 130 W. Aby zobaczyć ile nadzienia zostało w leju trzeba go ściągnąć z obudowy oraz nie posiada funkcji cofania nadmiaru nadzienia. Cena takiej nadziewarki wynosi niecałe 10000 złotych.



Rysunek 2.3. Automatyczna nadziewarka firmy Magorex [5]



### 3. Wybór podzespołów elektronicznych

Komponenty elektroniczne są główną częścią projektu. Może się wydawać, że proces ich doboru do wymagań projektowych jest bardzo prosty i nieskomplikowany, ale w rzeczywistości tak nie jest, gdyż mnogość dostępnych komponentów od różnych producentów jeszcze bardziej komplikują optymalny wybór, aby układ wykonywał zamierzoną pracę.

#### 3.1. Mikrokontroler

Porównując popularne platformy programistyczne i komputerowe, do realizacji tego projektu zdecydowano się użyć platformy Arduino jako kontrolera. Z punktu widzenia projektu najistotniejszymi kryteriami podczas wyboru były:

- Analogowe porty wejścia/wyjścia,
- Cyfrowe porty wejścia/wyjścia,
- Magistrala I2C,
- Prostota obsługi.

Przy wyborze kontrolera brano pod uwagę jednopłytkowy, bardzo popularny, mały komputer Raspberry PI [6]. Działa pod kontrolą systemów operacyjnych opartych na Linuksie oraz Windows 10 IoT umożliwiając pisanie aplikacji w przeważającej części języków programowania. Oferuje on następujące zasoby:

- CPU 1,4GHz,
- 2, 4 lub 8 GB RAM,
- 2 Porty USB 2/3,
- Dwa porty micro HDMI,
- Zasilanie USB-C,
- Port Ethernet 1 Gbit/s.

Raspberry PI oferuje liczne zasoby, które w zupełności wystarczą do realizacji projektu, lecz większość z nich jest nadmiarowa i nie zostanie wykorzystana. Wybór tej platformy przyczyniłby się do znacznego wzrostu ceny maszyny, ponieważ podstawowa wersja urządzenia kosztuje 188 zł, natomiast rozszerzona 389 zł.

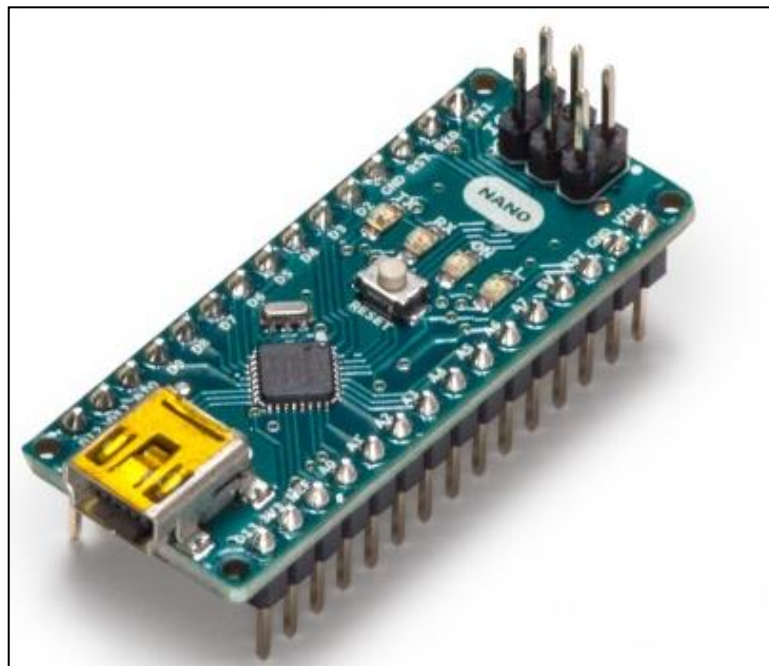
Arduino [7] jest to elektroniczna platforma cechująca się łatwością obsługi części sprzętowej, jaką jest fizyczny układ elektroniczny o programowalnej strukturze i części oprogramowania. W związku z tym, iż jest to oprogramowanie typu open-source, można

dokonywać jego modyfikacji i zamieniać w celu ponownej dystrybucji. Arduino najczęściej korzysta z 8-bitowego mikrokontrolera firmy ATMEL. Kod programu pisany jest w języku zbliżonym składnią do C/C++ w darmowym oprogramowaniu Arduino IDE. Dużą zaletą jest wieloplatformowość - oprogramowanie działa na wszystkich systemach operacyjnych.

Arduino posiada w swojej ofercie kilka modeli, z których bardziej powszechnie wykorzystywane są 4 modele podstawowe:

- Arduino UNO,
- Arduino Leonardo,
- Arduino Mega,
- Arduino Nano.

Ostatni z wymienionych, przedstawiony na rysunku 3.1, został poddany dalszej analizie, ponieważ właśnie ten model został finalnie wybrany jako kontroler do realizacji niniejszego projektu inżynierskiego. Tabela 3.1 przedstawia specyfikację techniczną platformy Arduino Nano.



Rysunek 3.1. Arduino Nano [8]

Tabela 3.1 Specyfikacja Arduino Nano [8]

Mikrokontroler	ATmega328
Architektura	AVR
Napięcie robocze	5 V
Pamięć flash	32 KB, z czego 2 KB są wykorzystane przez bootloader
SRAM	2 KB
Szybkość zegara	16 MHz
Analogowe piny wejścia	8
EEPROM	1 KB
Napięcie wejściowe	7-12 V
Cyfrowe piny wejścia/wyjścia	22 ( z czego 6 to piny PWM)
Rozmiar PCB	18 x 45 mm

Z punktu widzenia najważniejszych kryteriów, którymi kierowano się podczas wyboru mikrokontrolera zasoby przedstawione w tabeli 3.1 w zupełności wystarczają do stworzenia prototypu maszyny do nadziewania. Arduino Nano posiada wystarczającą liczbę cyfrowych pinów oraz magistralę I<sup>2</sup>C, umożliwiając podłączenie pozostałych komponentów elektronicznych.

Koszt modelu Arduino Nano wynosi około 100 zł. W sprzedaży są również dostępne moduły kompatybilne z oryginalnym układem Arduino z zainstalowanym bootloaderem. Oznacza to, że może być programowany poprzez środowisko Arduino IDE wykorzystując istniejące już biblioteki. Cena takich modułów zaczyna się od 15 zł. Wielką zaletą okazał się również rozmiar płytki, który wynosi 45 x 18 mm. Układ ten można zamontować na płytce PCB do wcześniej zalutowanych żeńskich złączy *goldpin*.

Możliwości oferowane przez platformę Raspberry PI są o wiele większe, porównując do Arduino oraz dostarcza więcej interfejsów, lecz dostępne zasoby są nadmiarowe i nie znajdują zastosowania w projekcie. Arduino jest o wiele tańsze oraz prostsze w obsłudze dzięki dużej dostępności materiałów edukacyjnych i bibliotek. Te cechy zadecydowały o wyborze Arduino Nano do realizacji projektu maszyny.

### 3.2. Pompa

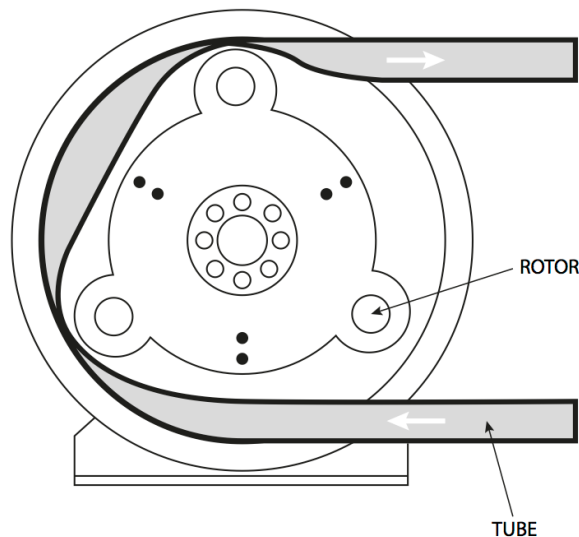
Porównując rodzaje dostępnych pomp zdecydowano się na wybór pompy perystaltycznej (rysunek 3.2) do realizacji tego projektu. Pozostałe pompy, które brano pod uwagę odrzucono, gdyż ich producenci podawali tylko informację, że może być

wykorzystywana do pompowania wody, lecz nie było nic wspomnianie odnośnie wykorzystania ich z produktami spożywczymi.



Rysunek 3.2. Pompa perystaltyczna [9]

Pompa perystaltyczna [10], której schemat działania przedstawiono na rysunku 3.3, to rodzaj pompy wyporowej, która składa się w zasadzie z dwóch głównych komponentów: silnika oraz konstrukcji mechanicznej.



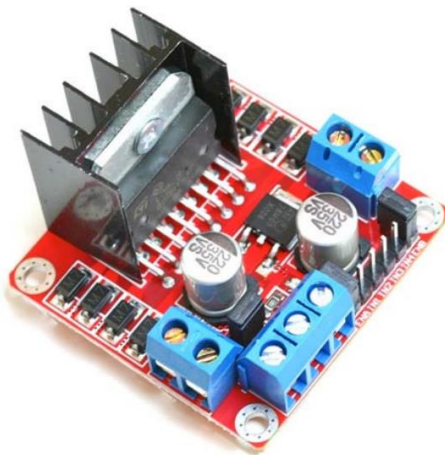
Rysunek 3.3. Zdjęcie ilustrujące zasadę działania pompy perystaltycznej [11]

Silnik zasilany jest napięciem stałym 12 V. Konstrukcja mechaniczna składa się z plastikowej obudowy, przez którą przechodzi silikonowy wężyk. W jej środkowym punkcie znajdują się cylindryczny łącznik, który posiada otwór dopasowany do kształtu wału silnika. Do niego przymocowane są rolki ściskające wężyk. Gdy wał silnika zaczyna się obracać,

rolki zaczynają się toczyć po przewodzie tworząc podciśnienie, które wymusza przepływ przez pompę. Głównym powodem, dla którego ten rodzaj pompy został wybrany do realizacji projektu jest fakt, iż tylko rurka lub wąż pompy ma kontakt z przepływającą cieczą. Jest to kluczowe ze względu na to, że pompa będzie wykorzystywana do nadziewania produktów spożywczych, które nie mogą mieć kontaktu z częściami mechanicznymi maszyny. Ponadto pompa może obracać się bez czynnika w rurkach i jest bardzo dokładna w dawkowaniu.

### 3.3. Sterownik pompy

Do sterowania silnikiem pompy wykorzystano dwukanałowy sterownik do silników prądu stałego L298N [12], który może być zasilany 5 - 35 V DC. Moduł przedstawiony na rysunku 3.4 posiada wbudowany regulator napięcia 5 V, który można wykorzystać do zasilania między innymi Arduino. Pozwala on kontrolować kierunek obrotu silnika oraz prędkość z jaką się obraca. Dzięki zalutowanym złączom śrubowym zasilanie oraz silnik podłącza się w prosty sposób, przykręcając przewody śrubokrętem. Drugi kanał może zostać wykorzystany podczas modyfikacji prototypu maszyny, dodając kolejny silnik, dostarczając możliwość nadziewania dwóch produktów jednocześnie.



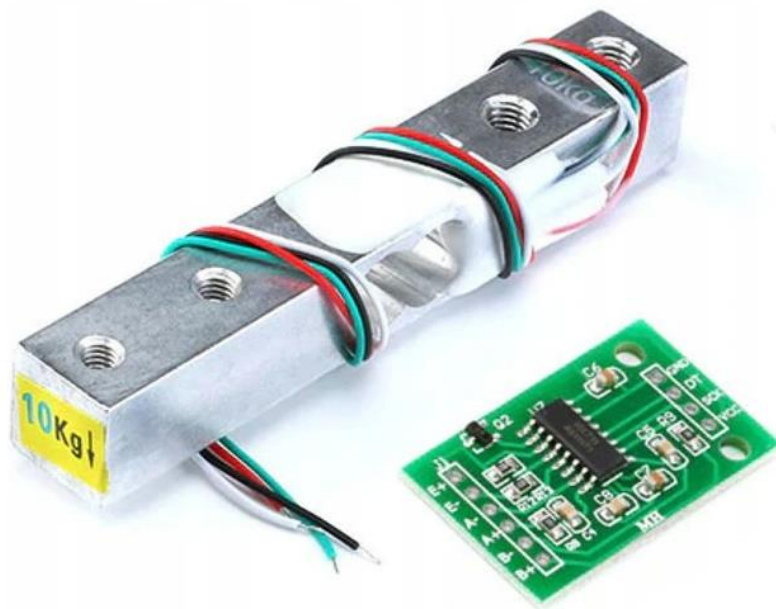
Rysunek 3.4. Sterownik silnika L298N [12]

### 3.4. Wskaźnik napelnienia zasobnika

Standardowe czujniki poziomu cieczy nie mogły zostać zastosowane w tym projekcie ze względu na lepkość wykorzystywanych produktów do nadziewania. Mimo ubywania nadzienia z zasobnika jego część osiadałaby na czujniku i pokazywałyby nieprawidłowy odczyt, co mogłoby skutkować niezadowolaniem klienta, w skutek braku nadzienia w wyrobie.

Czujniki pływakowe zostały odrzucone ze względu na ich kontakt z żywnością. Finalnie zdecydowano się użyć szeroko dostępnej na rynku belki tensometrycznej, a ściślej mówiąc, modelu, który umożliwia pomiar do 10 kg.

Korpus belki wykonany jest z aluminium. Po przyłożeniu siły tensometr zmienia swój kształt, a tym samym jego rezystancję, co powoduje zmianę napięcia w obwodzie mostka Wheatstone'a. Zatem zmiana napięcia jest proporcjonalna do siły fizycznej przyłożonej do elementu [13]. Do przetworzenia sygnału analogowego na reprezentację cyfrową użyto modułu HX711. Układ ten przetwarza sygnał z rozdzielczością 24bit oraz zgodnie z dokumentacją [14] powinien być zasilany napięciem w zakresie 2.6 – 5.5 V. Belkę wraz z przetwornikiem przedstawiono na rysunku 3.5.



Rysunek 3.5. Belka tensometryczna wraz z przetwornikiem HX711 [15]

### 3.5. Wyświetlacz

Do wyświetlania wybranych parametrów zastosowano wyświetlacz OLED 0,96" 128 x 64. Komunikacja z wyświetlaczem odbywa się przez magistralę I<sup>2</sup>C. Aktywna część wyświetlacza wynosi 22 x 11 mm. Do transmisji wykorzystują on 2 linie:

- SDA – linia danych
- SCL – linia zegara

### 3.6. Czujnik zbliżeniowy

W celu włączania pompy wybrano czujnik odległości E3F-DC30C4 przedstawiony na rysunku 3.6 Jego gwintowana obudowa oraz dwie dołączone plastikowe nakrętki umożliwiają bardzo prosty montaż w obudowie. Za pomocą zamontowanego w tylnej części potencjometru możemy regulować odległość w zakresie 0 – 30 cm. W przypadku, gdy czujnik wykryje obiekt znajdujący się w ustalonej odległości wystawia stan niski. Został on tak ustawiony by uruchamiał nadziewarkę automatycznie po przyłożeniu pączka, bez potrzeby przykładania palca bezpośrednio na czujnik.



Rysunek 3.6. Czujnik odległości E3F-DC30C4 [16]

### 3.7. Peryferia

Oprócz wyżej wymienionych komponentów elektronicznych dołączono jeszcze kilka dodatkowych elementów. Jedna czerwona dioda LED została wykorzystana w celu sygnalizacji braku produktu nadziewającego w zbiorniku. Klawiatura membranowa DC 12 V, posiadająca dwa przyciski, odpowiada za ustawianie zdefiniowanych parametrów pracy maszyny. Ponadto użyto przełącznika dźwigniowego, dwu pinowego, do włączania zasilania.

## 4. Budowa maszyny

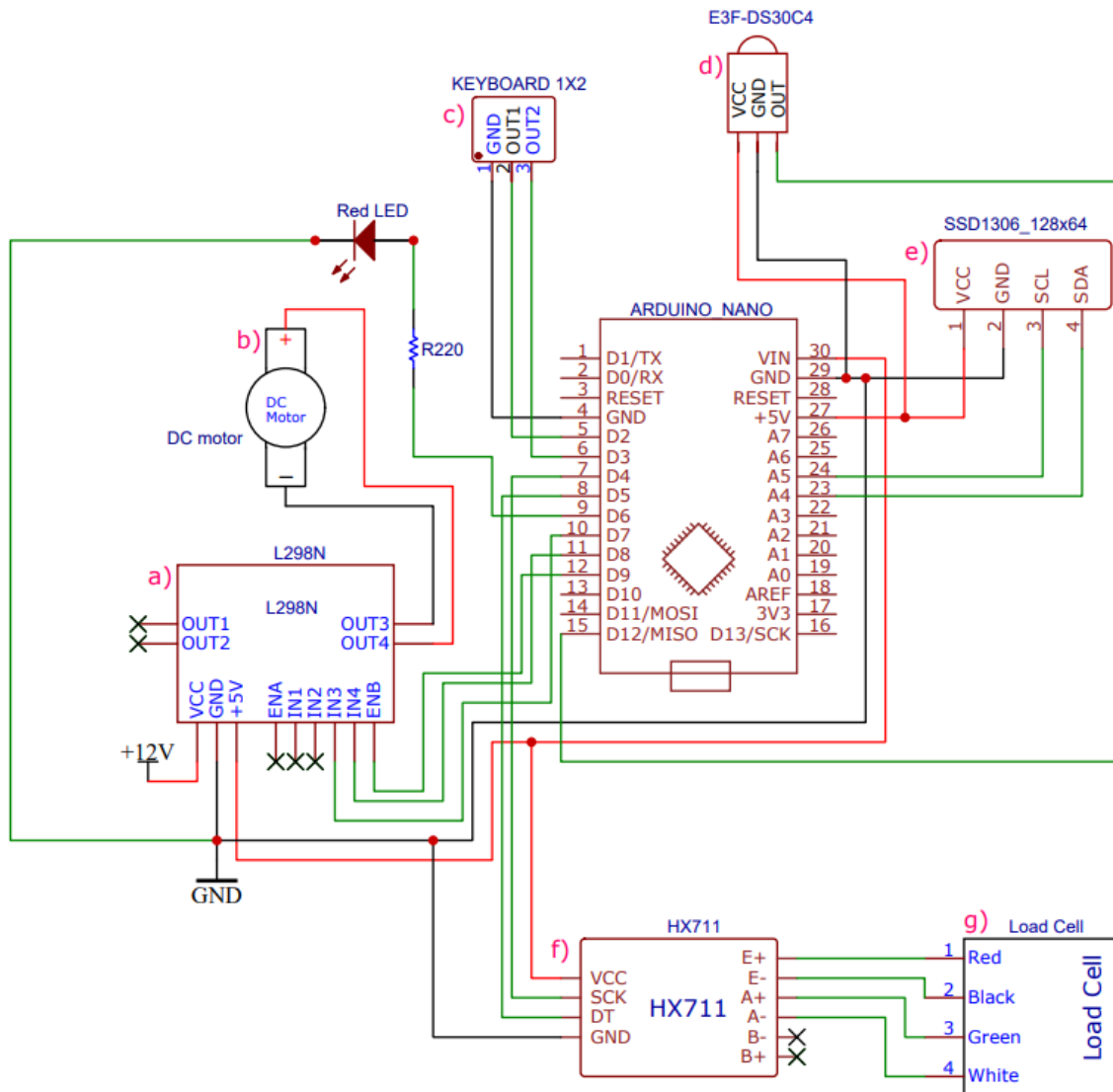
Opracowanie prototypu maszyny rozpoczęto od dobrania komponentów elektronicznych, przechodząc do stworzenia działającego układu elektrycznego. Następnie bazując na wymiarach części przystąpiono do zaprojektowania oraz wykonania obudowy.

### 4.1. Schemat elektryczny

Na rysunku 4.1 przedstawiono schemat elektryczny maszyny do automatycznego nadziewania. Ilustruję on połączenia elementów elektronicznych w układzie bez przedstawienia ich fizycznego położenia w urządzeniu. Podczas projektowania schematu korzystano z dokumentacji technicznych wszystkich zastosowanych modułów w celu poprawnego jego wykonania.

Do zasilenia całego układu wykorzystano zasilacz impulsowy 12 V 500 mA. Przewody od zasilacza połączone są bezpośrednio ze sterownikiem silnika. Do zasilania Arduino oraz pozostałych modułów pracujących z prądem stałym o napięciu 5 V wykorzystano fakt, że mostek H sterownika posiada wbudowany stabilizator napięcia, który w skutek założenia zworki w odpowiednie wyprowadzenie podaje napięcie 5 V na wyjściu. Do portów A4, A5 zostały podłączone odpowiednio piny SDA oraz SCL wyświetlacza, ponieważ według dokumentacji Arduino Nano na te piny wyprowadzona jest magistrała I<sup>2</sup>C. Dioda, wykorzystywana w celu przekazywania informacji operatorowi maszyny, podpięta jest do portu 9. Aby sterować prędkością, z jaką obracać się będzie pompa wykorzystano pin 12, ponieważ jest tam wyprowadzenie, umożliwiające modulację szerokości impulsu.

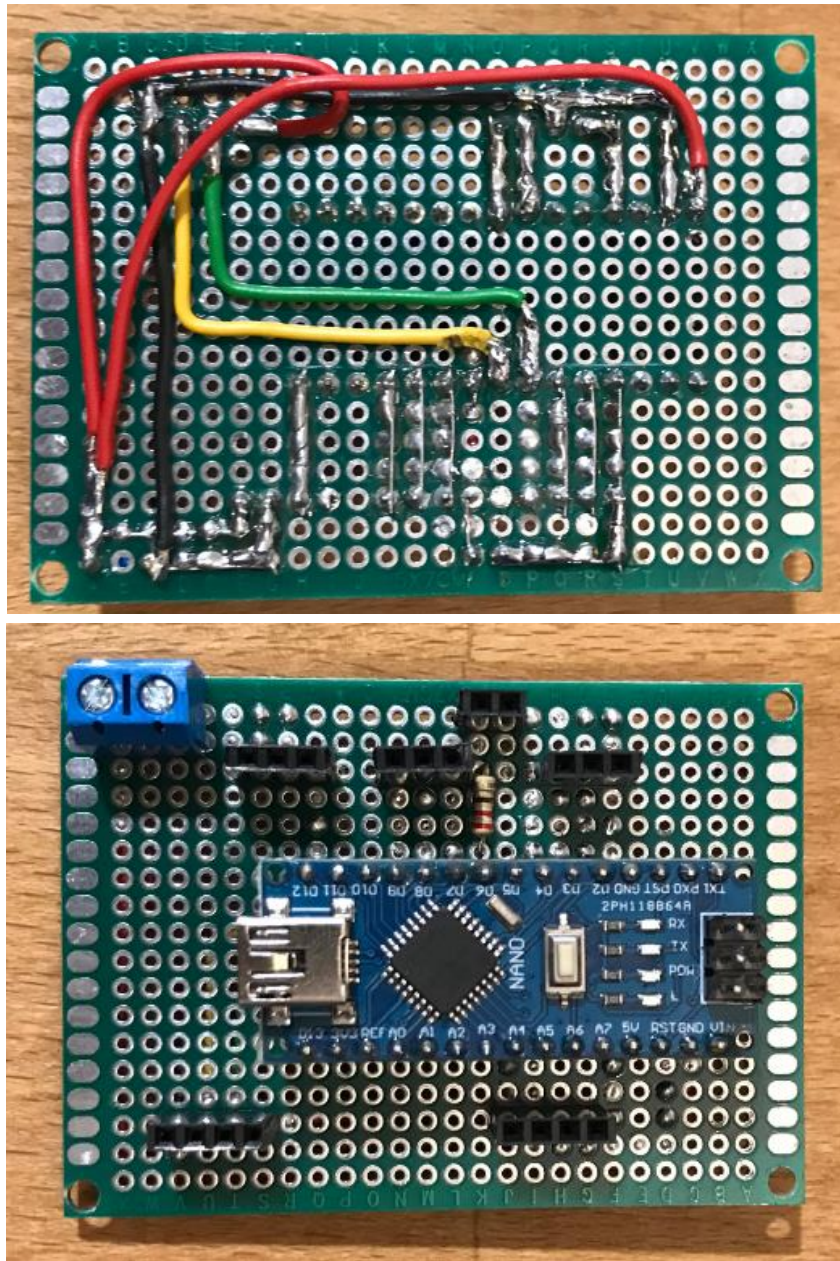




Rysunek 4.1 Schemat elektryczny automatycznego urządzenia do nadziewania: a) sterownik silnika, b) pompa perystaltyczna, c) klawiatura membranowa, d) czujnik zbliżeniowy, e) wyświetlacz, f) przetwornik HX711, g) belka tensometryczna

## 4.2. Wykonanie PCB

Na podstawie schematu przedstawionego na rysunku 4.1 opracowano prototyp układu. Do tego celu wykorzystano dwustronną płytkę uniwersalną PCB o wymiarach 4 x 6 cm, wykonanej z laminatu FR-4 o grubości 1.6 mm. Brak konieczności projektowania, trawienia, zamawiania dedykowanej PCB był głównym powodem wyboru tego rozwiązania. Rysunek 4.2 przedstawia gotowy prototyp płytki.



Rysunek 4.2. Prototyp układu elektronicznego

Do wszystkich wychodzących przewodów z czujników zalutowano męskie złącza *goldpin* oraz zabezpieczono je rurkami termokurczliwymi. Na górnej stronie płytki zamontowane są żeńskie złącza *goldpin*, które umożliwiają prosty ich montaż. Zaletą takiego rozwiązania jest bardzo szybka wymiana komponentów, w razie awarii któregoś z nich. Płytkę Arduino umiejscowiono złączem USB Mini-B w stronę zewnętrznej części obudowy, w celu łatwego dostępu do niego podczas programowania. Wejście zasilania powinno być oddalone od pozostałych komponentów, gdyż przepływający tam prąd może powodować zakłócenia, dlatego też dwa złącza śrubowe, gdzie za pomocą przewodów dostarczane jest

zasilanie, zalutowano na krawędzi płytki. Na przewody wchodzące w złącza śrubowe zaciśnięto izolowane tulejki kablowe dopasowane do ich średnicy.

Od strony dolnej widoczne są tylko zalutowane ścieżki pomiędzy odpowiednimi pinami mikrokontrolera, a zaprojektowanymi wejściami na peryferyjne komponenty. Sterownik L298N został umieszczony osobno i połączony przewodami z płytką ze względu na rozmiar, który uniemożliwiał montażu bezpośrednio na PCB.

Na rogach sterownika silnika oraz płytki PCB znajdują się otwory montażowe, które wykorzystano do zamontowania ich na wyciętej płycie plexi. Pod prototypem układu zamontowano dodatkowo dystanse, umożliwiając poprowadzenie przewodów od silnika. Wyżej wspomnianą płytę plexi oklejono folią przypominającą wyglądem szcztokowane aluminium, poprawiając tym samym jej wygląd estetyczny.

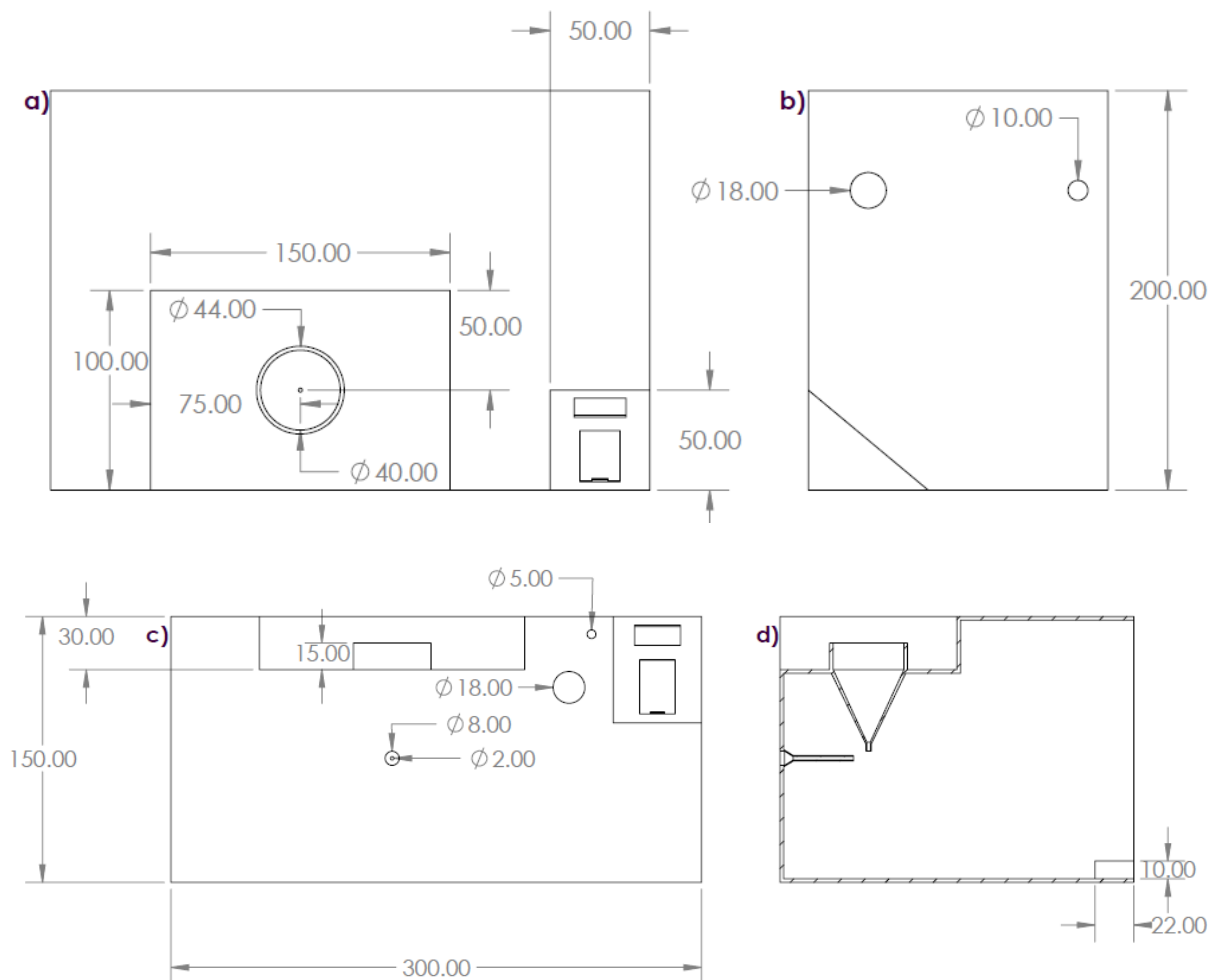
Podczas lutowania elementów elektronicznych poprawność połączeń była na bieżąco sprawdzana miernikiem elektrycznym, aby przy pierwszej próbie podłączenia zasilania nie doszło do zwarcia lub do uszkodzenia pojedynczych elementów.

### **4.3. Obudowa**

Zaczynając pracę projektową należy przeanalizować w jakich warunkach dana maszyna będzie pracować. Na tej podstawie należy dopasować wybrane materiały oraz odpowiednio zaprojektować konstrukcję, by przez długie lata była eksploatowana w zakładach produkcyjnych. Automatyczna maszyna do nadziewania, będąca tematem tej pracy, została opracowana by wykorzystać ją do nadziewania półproduktów piekarniczocukierniczych. W warunkach jakich będzie pracowała, przeważnie występuję duża wilgotność powietrza oraz zapylenie, które wpływają negatywnie na elementy elektroniczne, dlatego trzeba zadbać by całość była szczelna. W piekarniach źródłami pyłu są produkty spożywcze, takie jak mąka i cukier. Duża wilgotność jest spowodowana przez wydostającą się parę wodną za sprawą niewielkich nieszczelności oraz w trakcie otwierania pieca, która wcześniej została dostarczona do komór pieców piekarniczych, obrotowych oraz garowni [17]. Konstrukcja składa się z kilku elementów zaprojektowanych w programie SolidWorks 2018.

### 4.3.1. Korpus

Projektując główną część obudowy, którą jest korpus wzorowano się na istniejących już konstrukcjach. Na rysunku 4.3 przedstawiono jego rzuty prostokątne wraz z najważniejszymi wymiarami, które pokazują przedmiot z kilku stron. Wymiary zostały tak dobrane, by cała konstrukcja była sztywna, zajmowała jak najmniej miejsca, umożliwiając bezproblemowy montaż wybranych części elektronicznych oraz mechanicznych. Grubość ścian wynosi 2 mm.

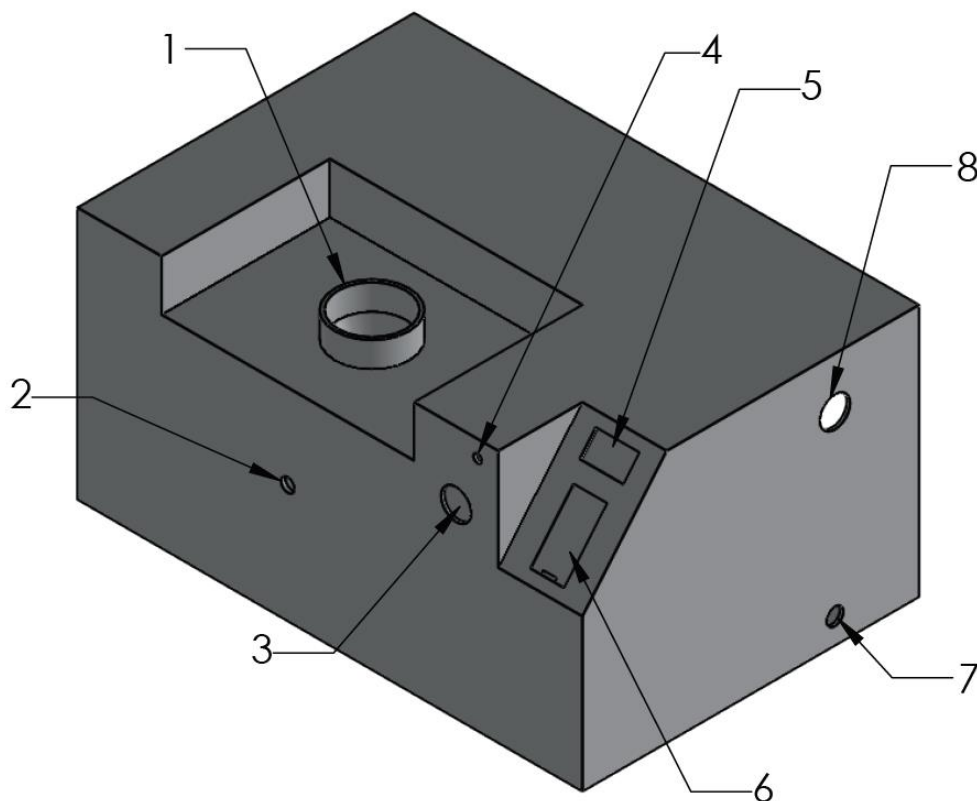


Rysunek 4.3. Uproszczony rysunek techniczny korpusu obudowy wykonany w oprogramowaniu SOLIDWORKS 2018: a) rzut górny, b) rzut boczny, c) rzut z przodu, d) przekrój poprzeczny

Bardzo istotne było dobranie części elektronicznych przed przystąpieniem do projektowania elementów obudowy, ponieważ prototyp musi uwzględnić miejsca montażowe oraz wielkości otworów na elementy składowe projektu. Ze względu na brak dokumentacji technicznych niektórych z komponentów, przy pomocy urządzeń pomiarowych, takich jak

suwmiarka, metr zmierzono potrzebne wymiary i zaprojektowano otwory. W przedniej, górnej oraz bocznej części korpusu stworzono łącznie 8 otworów (rysunek 4.4), w miejscach których zostały zamontowane następujące elementy:

1. Zbiornik,
2. Igła do nadziewania,
3. Czujnik zbliżeniowy,
4. Dioda LED,
5. Wyświetlacz,
6. Klawiatura membranowa,
7. Przewód od zasilacza,
8. Włącznik dźwigniowy.



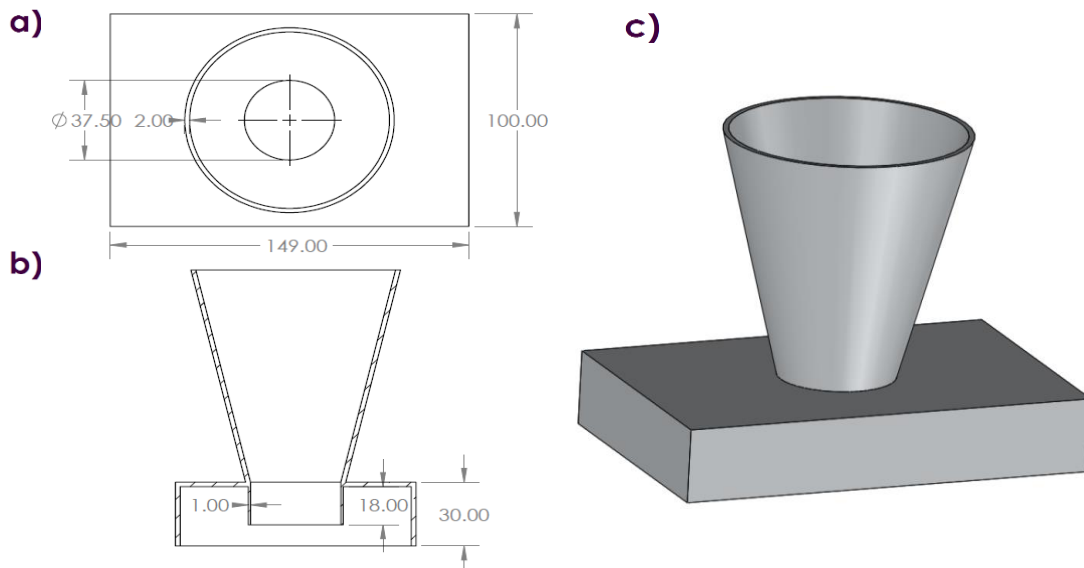
Rysunek 4.4. Model 3D korpusu obudowy wykonany w oprogramowaniu SOLIDWORKS 2018

### 4.3.2 Lej cylindryczny

Aby gromadzić nadzienie podczas pracy został zaprojektowany lej cylindryczny przedstawiony na rysunku 4.5. Jego wymiary zostały sporządzone na podstawie przygotowanych otworów montażowych w korpusie, by idealnie do niego pasował. Jest wysoki na 100 mm, a jego górna średnica wynosi 83 mm. Jedynie długość podstawy zbiornika

została zmniejszona o jeden mm względem wycięcia, by zapewnić jeszcze łatwiejszą jego zmianę. Otwór cylindryczny wchodzi do korpusu na dystans równy 18 mm. Dzięki takiemu rozwiązaniu, całe połączenie jest szczelne i nie ma potrzeby wykorzystywać dodatkowo uszczelek. Główną zaletą takiej konstrukcji jest szybka wymiana leja na inny, gdy korzystamy z różnych nadzień oraz zważywszy na fakt, iż nie są na nim zamontowane żadne komponenty elektroniczne, wyczyszczenie go przebiega bezproblemowo.

Pojemność leja wynosi tylko 0.450 litra. Aby zwiększyć efektywność pracy w kolejnym prototypie trzeba zwiększyć jego pojemność, by jedno napełnienie starczało na nadzienie większej ilości produktów. Na potrzeby budowy prototypu mała pojemność leja nie stanowiła problemu.

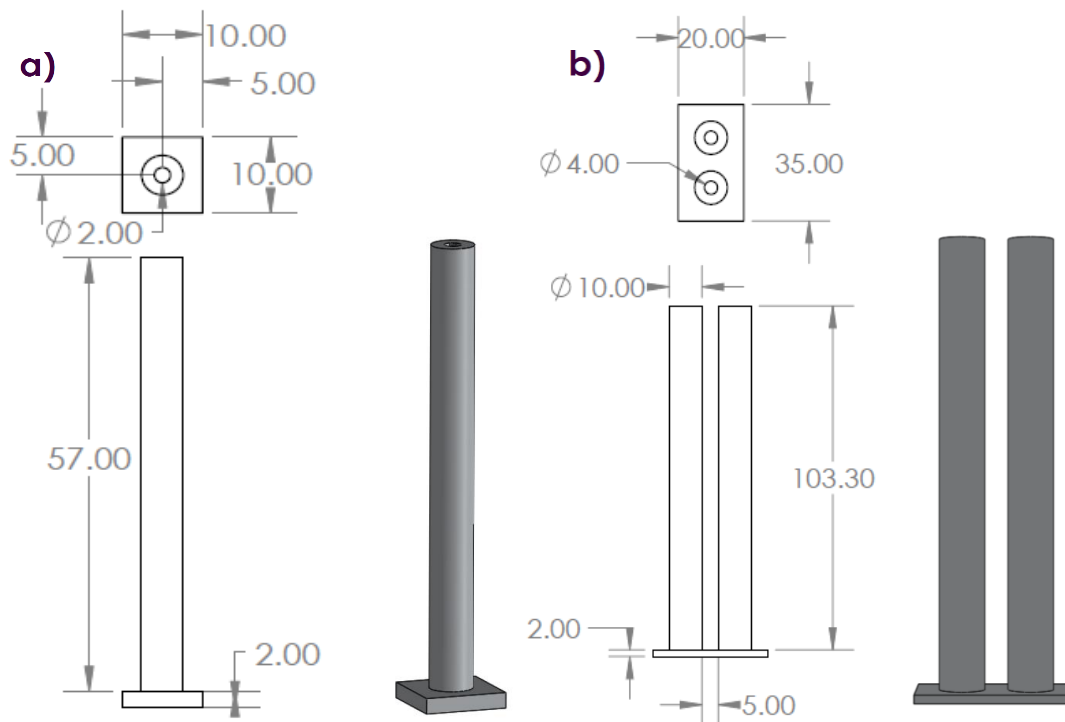


Rysunek 4.5. Uproszczony rysunek techniczny leja wykonany w oprogramowaniu SOLIDWORKS 2018, a) rzut z góry, b) przekrój poprzeczny, c) model 3D zbiornika

### 4.3.3 Wsporniki montażowe

Aby zamontować belkę tensometryczną oraz pompę zaprojektowano wsporniki przedstawione na rysunku 4.6. Dzięki przygotowanym wycięciom w podstawie korpusu montaż jest nieskomplikowany. Ponadto ich zastosowanie powodują zmniejszenie naprężeń działających na podłoże i zredukowane są drgania przenoszące z pompy podczas pracy. Grubość ścianki podstawy jest równa grubości elementu, w którym zostaną zamontowane.

Średnice otworu montażowego mają zaprojektowany gwint na śruby M2 oraz M4, które są wkręcane od górnej części korpusu.

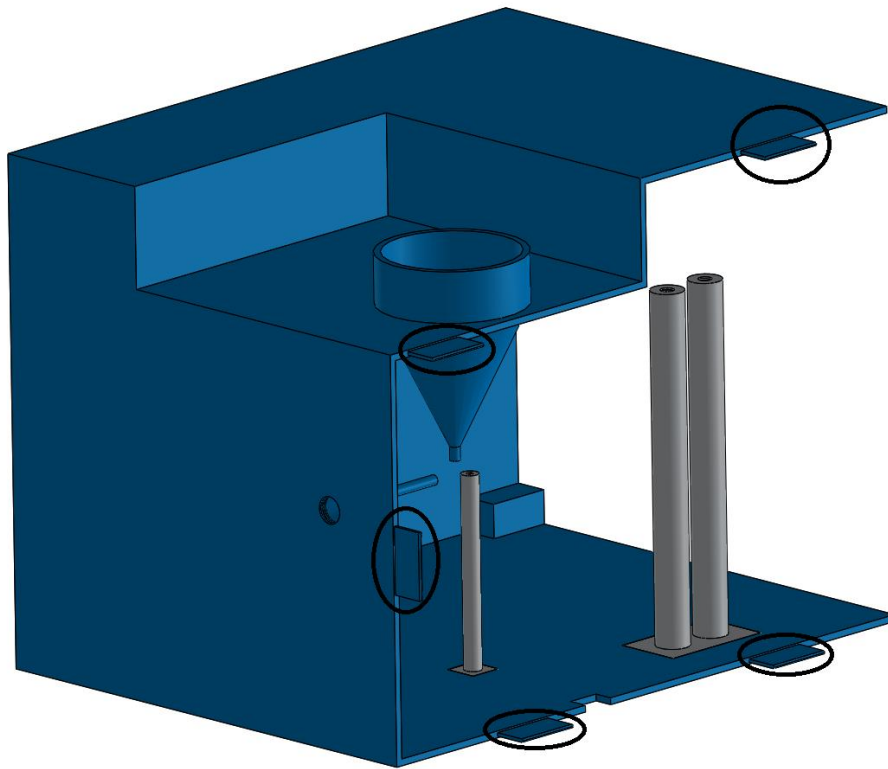


Rysunek 4.6. Uproszczony rysunek techniczny: a) wspornika pompy, b) wspornika belki tensometrycznej, wykonane w oprogramowaniu SOLIDWORKS 2018

#### 4.4. Etap drukowania prototypu

Przygotowane modele 3D części zostały sprawdzone pod względem dokładności dobranych wymiarów przed przystąpieniem do etapu drukowania. Stworzono złożenie wszystkich komponentów obudowy w programie SolidWorks metodą projektowania od dołu w górę. Polega ona na tym, że wcześniej zaprojektowane części wstawia się do złożenia i wykorzystując wiązania, tworzy się zależności geometryczne pomiędzy nimi. Następnie za pomocą narzędzia *Wykrywanie przenikania* identyfikuje się przenikania pomiędzy komponentami umożliwiając dokładniejsze przyjrzenie się tym obiektom. Aby przenikania były widoczne, program zmienia przezroczystość ścian oraz wyświetla rzeczywistą objętość przenikania w postaci zacieniowanej objętości. W projekcie narzędzie zostało wykorzystane z powodzeniem wykrywając jeden źle dobrany wymiar, który został poprawiony.

Wymiary zaprojektowanego korpusu przekraczały możliwości wykorzystywanej drukarki 6 Plus (do której autor miał bezpośredni dostęp) [18], w odniesieniu do maksymalnego obszaru roboczego wynoszącego 200 x 200 x 180 mm. Do jednej z krakowskich firm specjalizującej się w drukowaniu 3D wysłano prośbę o wycenę druku takiego elementu w technologii SLS. Cena okazała się bardzo wysoka, bowiem wyniosła ona aż pięć tysięcy złotych. W związku z tym konieczne było podzielenie bryły korpusu na dwie połowy, by wymiar mieścił się w maksymalnym polu roboczym Wanhao. Na rysunku 4.7 przedstawiono lewą część korpusu wraz z zaprojektowanymi wpustami łączącymi, które zostały zaznaczone czarnymi okręgami.

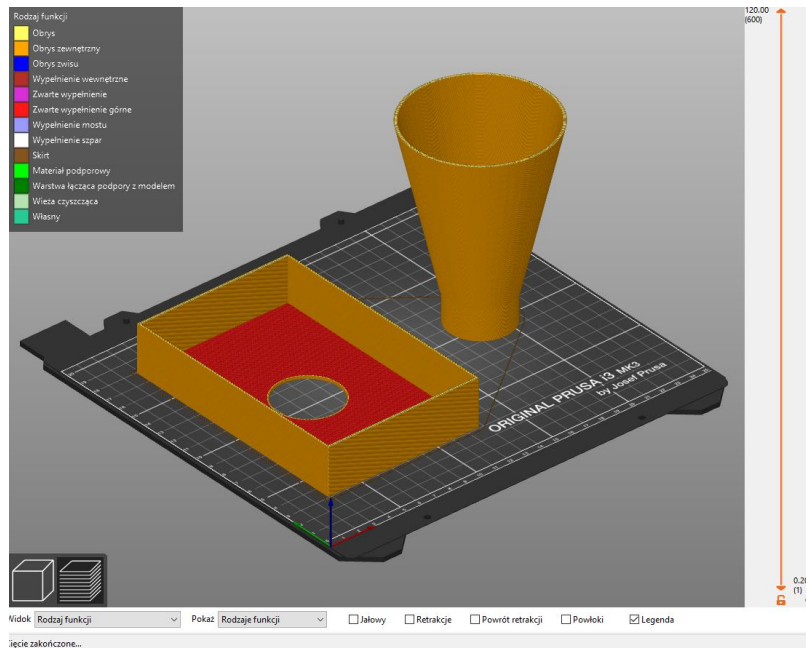


Rysunek 4.7. Model 3D lewej części korpusu wraz z wpustami łączącymi

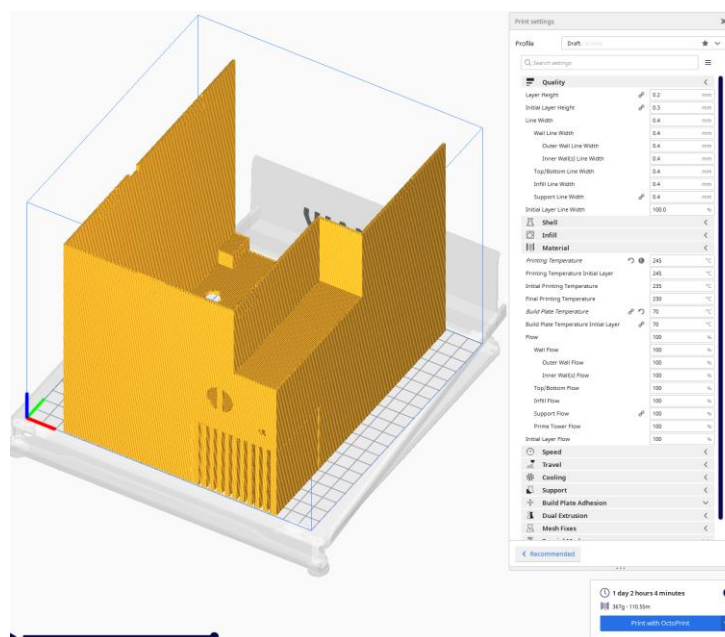
Powstało łącznie 6 plików w formacie STL, które mogły zostać wczytane do oprogramowania drukarki 3D. W oprogramowaniu uzyskujemy pogląd pola roboczego, na którym precyzujemy umieszczenie modelu do wydruku. Ponadto generuje on automatycznie podpory w miejscach, gdzie jest to wymagane. Program oblicza czas druku na podstawie wybranych parametrów oraz istnieje możliwość podglądu układania kolejnych warstw materiału. Na rysunkach 4.8, 4.9 przedstawiono interfejs oprogramowania PrusaSlicer wraz z



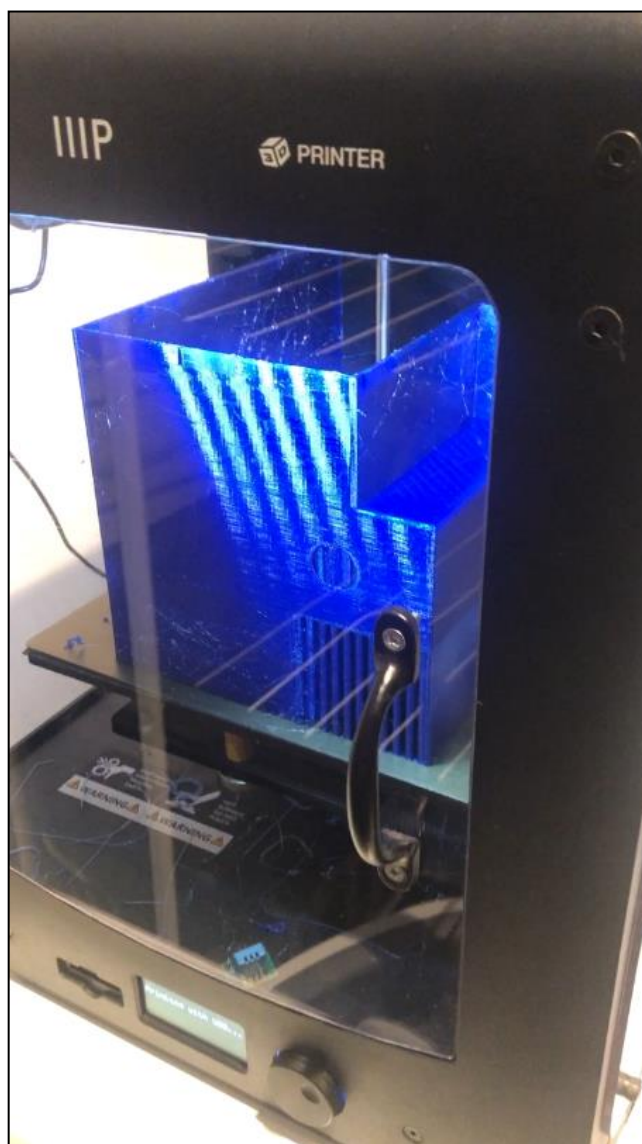
umieszczonym modelem leja oraz interfejs aplikacji Ultimaker Cura. Drukowanie samego korpusu (rysunek 4.10) trwało łącznie trzy dni. Aby skrócić czas oczekiwania na pozostałe części i przyspieszyć proces składania prototypu postanowiono skorzystać z drugiej drukarki 3D o oznaczeniu Prusa i3 MK3s. Czas wydruku pozostałych komponentów trwał niecały jeden dzień, z uwagi na ich nieskomplikowany kształt oraz nieduży rozmiar.



Rysunek 4.8 Interfejs oprogramowania PrusaSlicer 2.2.0



Rysunek 4.9. Interfejs oprogramowania Ultimaker Cura 4.7.1



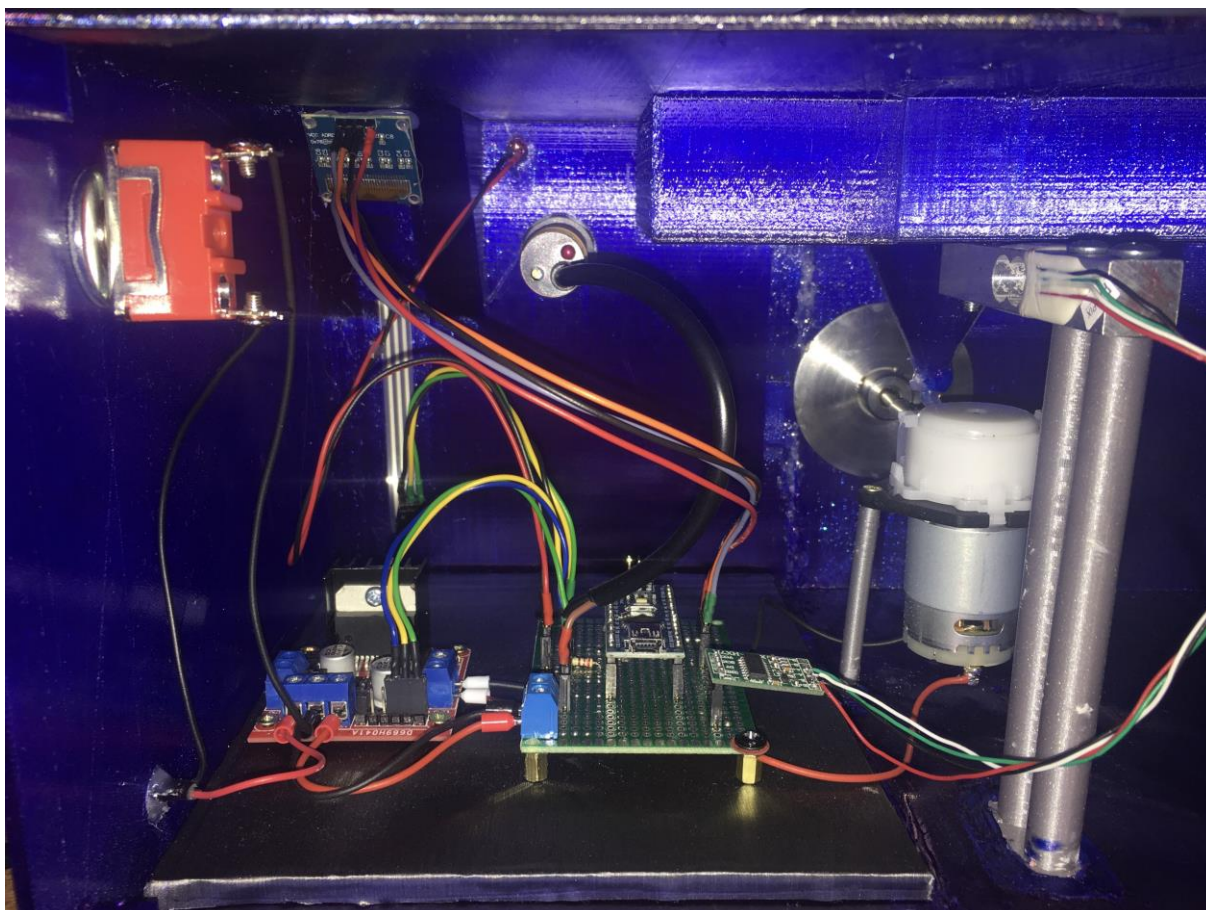
Rysunek 4.10. Drukarka Wanhao w trakcie wydruku korpusu obudowy

Elementy konstrukcyjne maszyny będą miały kontakt z żywnością, dlatego należało wykorzystać odpowiednie materiały do wydruku. Wykorzystanym materiałem do drukowania korpusu był materiał PETG [19], stanowiący mieszkankę standardowego PET i glikolu. Elementy wykonane z tego filamentu charakteryzują się dużą wytrzymałością oraz małą sztywnością. Wykorzystano ten fakt podczas mierzenia ilości nadziewania w leju, ponieważ po przyłożeniu obciążenia podlega on chwilowemu odkształceniu. Kolejnym ważnym aspektem jest jego szeroki zakres odporności chemicznej i jest w pełni bezpieczny w kontakcie z żywnością. Do wydruku pozostałych części wykorzystano materiał PLA. Charakteryzują się wysoką sztywnością, natomiast jego wytrzymałość nie jest tak wysoka jak w przypadku PETG.

Posiadając już wszystkie potrzebne części usunięto wygenerowane podpory podczas drukowania i przystąpiono do złożenia prototypu. Wpusty łączeniowe oraz zewnętrzna cylindryczna część leja wymagały przeszlifowania, gdyż ich krawędzie były chropowate, powodując problemy podczas złożenia. Dwie części obudowy oraz wsporniki montażowe zostały sklezione za pomocą silikonu spożywczego i pozostawiono je na dobę, by całkowicie wyschnął. Wyświetlacz, diodę oraz klawiaturę przymocowano za pomocą kleju na gorąco. Na rysunkach 4.11, 4.12 przedstawiono gotowy prototyp.



Rysunek 4.11. Złożony prototyp maszyny



Rysunek 4.12. Elektronika umieszczona wewnątrz prototypu maszyny

#### 4.5. Analiza wytrzymałościowa korpusu

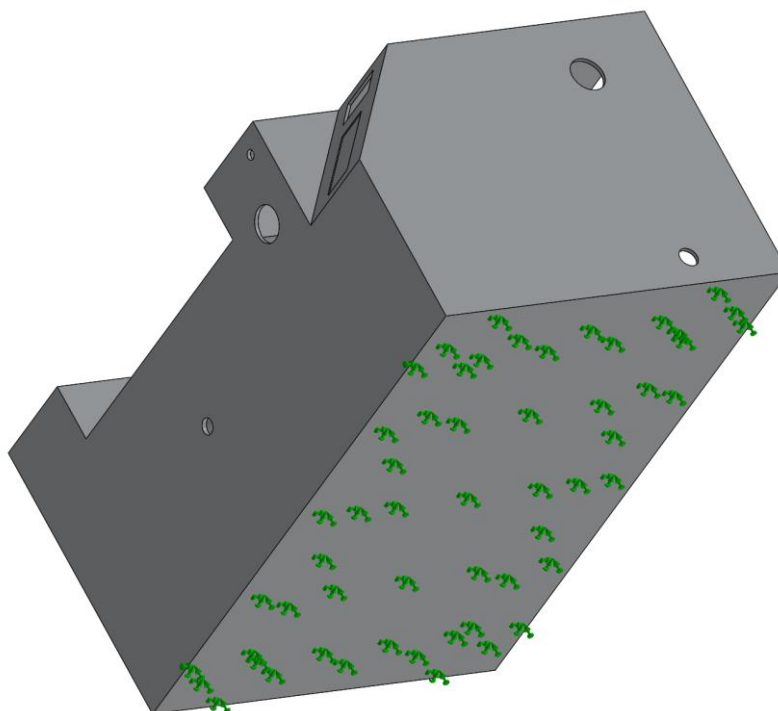
W kolejnym prototypie maszyny trzeba zastosować lej o większej pojemności w celu umożliwienia dłuższej pracy na jednorazowym jego zapełnieniu. Aby sprawdzić czy wydrukowany korpus obudowy nie ulegnie pęknięciu pod większym obciążeniem przeprowadzono analizę statyczną w oprogramowaniu SolidWorks 2018 wykorzystując dodatek *Simulation*.

W pierwszej kolejności zdefiniowano właściwości materiału, z którego został wykonany korpus. W tabeli 4.1 przedstawiono wartości właściwości filamentu PETG, które były wymagane do przeprowadzenia symulacji [20].

Tabela 4.1. Właściwości materiału PETG

Właściwość	Wartość	Jednostki
Współczynnik sprężystości	2001	MPa
Współczynnik Poissona	0.33	n.d.
Masa właściwa	1260	kg/m <sup>3</sup>
Granica plastyczności	48	MPa

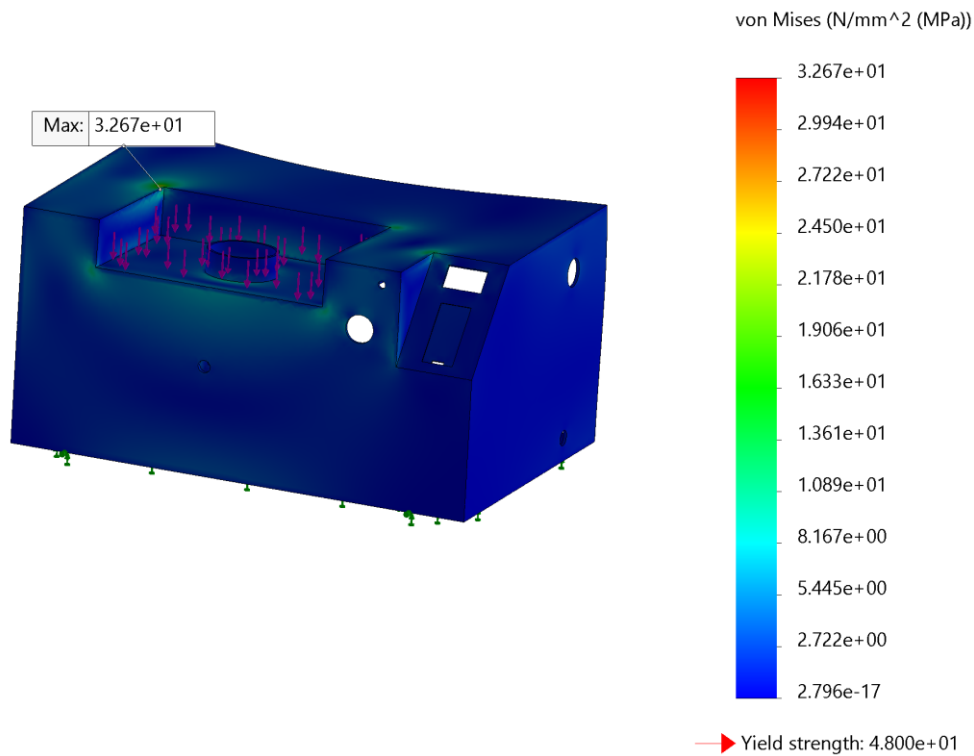
Następnie trzeba zdefiniować umocowanie oraz siły działające na obudowę. Siła została przyłożona w wycięciu obudowy, które zostało zaprojektowane na montaż leja. Na dolnej ścianie obudowy założono umocowanie (rysunek 4.13), w celu odtworzenia warunków pracy maszyny, która będzie umiejscowiona na blacie roboczym. Ostatnim krokiem przed uruchomieniem symulacji było wygenerowanie siatki Mesh. Automatycznie wygenerowana siatka składała się z 224337 węzłów oraz 112729 elementów.



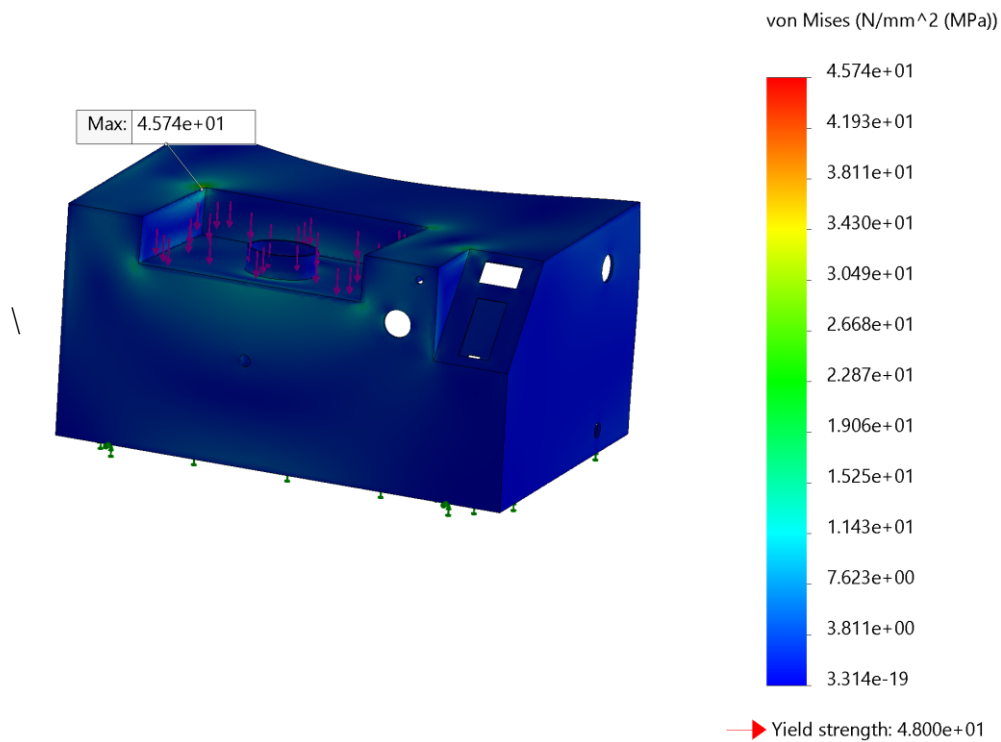
Rysunek 4.13. Korpus obudowy wraz z zaznaczonym miejscem umocowania

Wykonano łącznie trzy analizy wytrzymałościowe obudowy, które różniły się tylko wartością przyłożonej siły i wynosiła ona odpowiednio: 100, 140, 150 N. Wyniki symulacji przedstawiono na rysunkach 4.14 – 4.16. Patrząc na wartości naprężeń można zauważyć, że krytycznym regionem konstrukcji jest miejsce styku krawędzi górnej oraz przedniej części korpusu ze ścianami miejsca montażowego leja. Dla przyłożonych sił 100, 140 N maksymalne naprężenia wyniosły odpowiednio 32.67 MPa oraz 45.74 MPa i nie przekroczyły

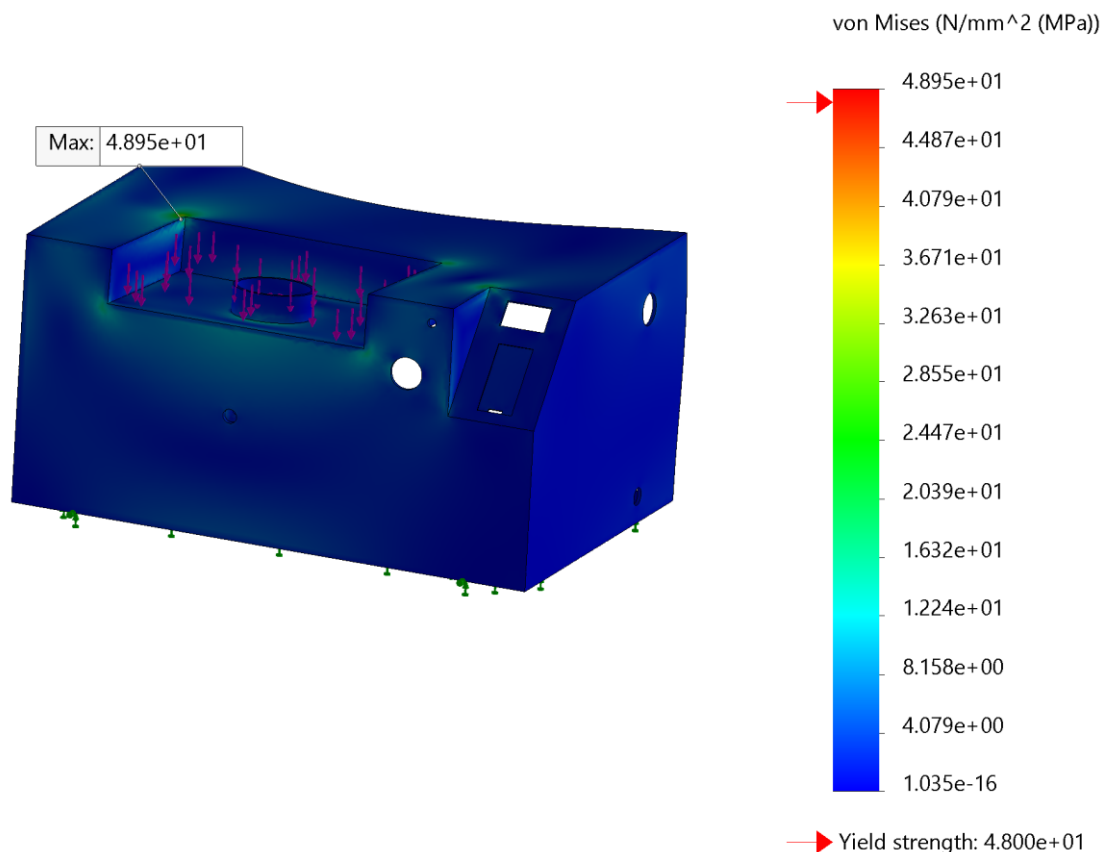
graniczy plastyczności w obudowie urządzenia. Natomiast przy sile wynoszącej 150 N występujące naprężenia osiągnęły wartość 49 MPa przekraczając nieznacznie granicę plastyczności.



Rysunek 4.14. Rozkład intensywności naprężenia dla siły równej 100 N



Rysunek 4.15. Rozkład intensywności naprężenia dla siły równej 140 N



Rysunek 4.16. Rozkład intensywności naprężenia dla siły równej 150 N

Przeprowadzone symulację pozwoliły ocenić jaką maksymalną pojemność powinien mieć kolejny prototyp leja, by oddziałująca siła na obudowę nie uszkodziła konstrukcji. Według przedstawionych wartości naprężeń, można stwierdzić, że pojemność leja nie powinna być większa niż 14 litrów. Ciągnie to za sobą zastosowanie belki tensometrycznej, która działa w zakresie do około 200 N, ponieważ wykorzystana w projekcie posiada zakres pomiarowy do 100 N. Aby móc zastosować jeszcze większy zbiornik na nadzienie należałoby dodać podpory łączące dolną ścianę z górną, na której mocowany jest lej lub zwiększyć grubość ścian w tamtym obszarze o kilka milimetrów.

#### 4.6. Testowanie przepływu

Przed przystąpieniem do stworzenia oprogramowania postanowiono przetestować zaprojektowane kanały przepływowe. Górny lej korpusu uzupełniono nadzieniem, na rurki widoczne w przekroju poprzecznym korpusu (rysunek 4.3) nałożono dwa wężyki wyprowadzone z pompy i podłączono bezpośrednio zasilanie do silnika. Jak się okazało, ze względu na ich małą średnicę, przepływ został całkowicie zablokowany przez podpory, które

wygenerowało oprogramowanie drukarki 3D. Wiertłem o średnicy 1,5 mm przewiercono kanały i przeprowadzono ponownie test, lecz bez zamierzonych rezultatów. Podczas próby przewiercenia otworu większym wiertłem, o średnicy 2 mm, kanał wychodzący na zewnątrz leja uległ rozwarstwieniu, uniemożliwiając dalsze pracę.

Ze względu na uszkodzenie materiału podczas testów, postanowiono wykonywać igłę z tulejką, przedstawioną na rysunku 4.17, na którą będzie mocowany wężyk z pompy. Igła wykonana jest ze stali nierdzewnej. Wystaje poza obudowę na odległość równą 7 cm i w tym też miejscu przyspawano podkładkę, dzięki której blokowana jest ona na obudowie. Aby nie wypadła z obudowy, od wewnętrznej strony zakładana jest kolejna podkładka, która na środku ma zamocowaną tuleję z bocznym otworem na imbusowy wkręt dociskowy. Po jej zamontowaniu nie wystąpiły już problemy związane z przepływem.



Rysunek 4.17. Nierdzewna igła do nadziewania



## 5. Implementacja oprogramowania

Do stworzenia oprogramowania zarządzającego maszyną wykorzystano zintegrowane środowisko programistyczne Arduino IDE. Jest to wieloplatformowa aplikacja napisana w języku Java. Zawiera edytor kodu źródłowego umożliwiający pisanie programu w składni C/C++, umożliwia jego kompilację oraz wgranie programu na mikrokontroler płytki Arduino. Przy pisaniu programu wykorzystano bibliotekę HX711\_ADC [21] do obsługi 24-bitowego wzmacniacza belki tensometrycznej HX711 oraz bibliotekę Adafruit\_SSD1306 [22], która dostarcza funkcję potrzebne do obsługi wyświetlacza OLED opartego na module SSD1306.

Działanie aplikacji zostało oparte o pętlę nieskończoną w funkcji loop(), w której zostały wywołane funkcje kontrolujące peryferia mikrokontrolera. W celu realizacji sterowania poszczególnymi komponentami napisano funkcję odpowiedzialne za:

- Mierzenie stopnia zapelnienia leja oraz informowanie operatora maszyny o jego stanie,
- Obsługa klawiatury membranowej,
- Wyświetlanie czasu nadziewania zdefiniowanego przez operatora,
- Uruchomienie pompy.

### 5.1. Kalibracja belki tensometrycznej

Kalibrację belki tensometrycznej jak i samą jej obsługę wykonano przy pomocy biblioteki HX711\_ADC. Stworzenie obiektu klasy HX711\_ADC wymaga podania w konstruktorze numery pinów podłączenia linii danych magistrali komunikacyjnej DT oraz linii zegarowej magistrali komunikacyjnej SCK. Za pomocą metody begin() ustawiane są odpowiednie piny jako wejście/wyjście oraz podawany jest stan niski na SCK, by uruchomić moduł HX711. Na fragmencie kodu 5.1 zaprezentowano tworzenie obiektu klasy HX711\_ADC oraz metody, które należy wywołać przed samym procesem kalibracji.

```

#include <HX711_ADC.h>
#include <EEPROM.h>

#define dout 5
#define sck 4

HX711_ADC LoadCell(dout, sck);

const int eepromAddress = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println();
  Serial.println("Kalibracja wagi");

  LoadCell.begin();
  LoadCell.start(2000, false);
  LoadCell.setCalFactor(1);
  kalibruj();
}

void loop() {
  static boolean nowyOdczytGotowy = 0;

  if (LoadCell.update()) nowyOdczytGotowy = true;

  if (nowyOdczytGotowy) {
    float waga = LoadCell.getData();
    Serial.print("Odczyt wagi z belki tensometrycznej: ");
    Serial.println(waga);
    newDataReady = 0;
  }
}

```

Fragment kodu 5.1. Tworzenie obiektu klasy HX711\_ADC

Sam proces kalibracji odbywa się w monitorze portu szeregowego. Na samym początku funkcja prosi o usunięcie obciążenia z belki, a jeśli ta czynność zostanie już wykonana należy wysłać literę ‘t’ w celu potwierdzenia. Następnie trzeba umieścić przedmiot o znanej wadze i wpisać jego wartość. W tym celu wykorzystano stu gramowy odważnik do kalibracji wag. Na podstawie wpisanej wartości metoda `getNewCalibration()` klasy HX711\_ADC oblicza nowy współczynnik kalibracyjny, aby odczyt wagi był bardzo zbliżony lub identyczny do wcześniej podanej wartości. Aby nie kalibrować belki przy każdym włączeniu maszyny istnieje możliwość zapisania współczynnika do pamięci EEPROM Arduino za pomocą metody `put()` dostarczonej przez bibliotekę EEPROM, która jako argument przyjmuje adres pamięci, pod którym chcemy zapisać współczynnik oraz jego wartość. Rysunek 5.1 przedstawia proces kalibracji w monitorze portu szeregowego.

```
COM32
Send
Kalibracja wagi
Rozpoczeto proces kalibracji:
Nacisnij 't', aby wytarowac wage.
Umiesc przedmiot o znanej wadze i wpisz jego wartosc.
Podana masa wynosi: 160.00
Obliczony wspolczynnik kalibracji wynosi: 82.72
Czy chcesz zapisac nowa wartosc do pamieci EEPROM ? y/n
Wartosc 82.72 zostala zapisana do pamieci EEPROM : 0
Koniec kalibracji
Odczyt wagi z belki tensometrycznej: 159.96
Odczyt wagi z belki tensometrycznej: 160.01
Odczyt wagi z belki tensometrycznej: 160.05
Odczyt wagi z belki tensometrycznej: 160.07
Odczyt wagi z belki tensometrycznej: 160.10
Odczyt wagi z belki tensometrycznej: 160.13
Odczyt wagi z belki tensometrycznej: 160.18
Odczyt wagi z belki tensometrycznej: 160.22
 Autoscroll  Show timestamp
Newline 9600 baud Clear output
```

Rysunek 5.1. Kalibracja belki tensometrycznej

Aby sprawdzić poprawność odczytywanych wartości z belki tensometrycznej postanowiono przygotować 10 różnych przedmiotów o znanej wadze i porównać je do odczytu z programu. Wyniki testu przedstawiano w tabeli 5.1. Średni błąd procentowy wyniósł tylko 2.83 %, co jest wartością akceptowalną ze względu na specyfikę projektu, ponieważ pomiar wagi służy jedynie do poinformowania użytkownika poprzez zapalenie diody LED, że powinien napęlnić zbiornik. Brano również po uwagę możliwość wyłączenia pompy do momentu uzupełnienia leja do określonej w programie objętości, lecz to rozwiązanie jest bardzo ryzykowne, gdyż w razie awarii modułu HX711 nie będzie możliwości uruchomienia maszyny.

Tabela 5.1. Porównanie pomiaru wagi odczytanej wagą kuchenną oraz przy pomocy belki tensometrycznej

Numer pomiaru	Pomiar wagą kuchenną [g]	Pomiar wagi przy pomocy belki tensometrycznej [g]	Błąd procentowy [%]
1	160.8	160.2	0.37
2	10.1	9.3	7.92
3	106.5	103.8	2.54
4	35.5	35.2	0.85
5	856.2	822.4	3.95
6	478.3	475.7	0.54
7	116.1	116	0.09
8	86.1	85.6	0.58
9	11.3	10.8	4.42
10	45.6	42.4	7.02

## 5.2. Obsługa wyświetlacza

Do obsługi wyświetlacza zastosowano bibliotekę Adafruit\_SSD1306. Konstruktor klasy Adafruit\_SSD1306 przyjmuje szerokość i długość wyświetlacza w pikselach, wskaźnik na istniejącą instancję TwoWire oraz numer pinu, który steruje resetem. Aby zainicjalizować wyświetlacz należy wywołać funkcję `begin()` przekazując jej rodzaj wykorzystywanego sterownika i adres wyświetlacza. Wyświetlacz pokazuje czas pracy pompy, który ustala się za pomocą klawiatury membranowej. Domyślna wartość ustalona jest na dwie sekundy i nie może być mniejsza niż jedna sekunda. Maksymalny czas pracy można ustawić na 100 sekund, inkrementując wartość co pół sekundy. Na fragmencie kodu 5.2 zaprezentowano funkcję wyświetlającą zdefiniowany czas pracy na wyświetlaczu OLED.

Aby operator maszyny mógł bez żadnych trudności przełożyć czas pracy nadziewarki wyrażonej w sekundach na jednostkę masy w gramach postanowiono przeprowadzić test. Pod końcówkę igły postawiono wagę, która mierzy z dokładnością do jednego miejsca po przecinku, a następnie uruchomiono pompę 9 razy z czasem trwania pracy 1, 2 oraz 3 sekund. Na podstawie wyników z tego testu, przedstawionych w tabeli 5.2, można stwierdzić, że jedna sekunda pracy pompy odpowiada jednemu gramowi wypływającego z igły nadzienia.

```

void displayFillingTime(double fillingTime)
{
    display.clearDisplay();
    display.setTextSize(2);
    display.setTextColor(SSD1306_WHITE);

    display.setCursor(0, 0);
    display.println(F("Czas"));
    display.setTextSize(2);

    display.setCursor(60, 0);
    display.println(F("pracy"));
    display.setTextSize(3);

    if(fillingTime < 10) display.setCursor(30, 30);
    else if(fillingTime >= 10 & fillingTime < 100) display.setCursor(20, 30);
    else display.setCursor(10, 30);
    display.println(fillingTime);
    display.display();
}

```

Fragment kodu 5.2. Funkcją odpowiedzialna za wyświetlanie czasu pracy na wyświetlaczu

Tabela 5.2. Ilość podawanego nadzienia zależna od czasu.

Czas pracy pompy [s]	Podana ilość nadzienia [g]
1	1
1	1
1	1.1
2	2.1
2	2
2	2
3	3.1
3	3
3	3.2

### 5.3. Włączanie pompy

Aby pompa zaczęła wykonywać pracę czujnik zbliżeniowy musi wykryć obiekt od niego odległy o dystans wynoszący około 2 cm. Gdy wykryje obiekt, wystawia stan niski, który odczytywany jest przy pomocy funkcji wbudowanej `digitalRead()`, której jako argument podaje się numer pinu, do którego podłączony jest sam czujnik. Następnym uruchamianiu jest zaimplementowana funkcja `turnOnPump()`, przyjmująca czas trwania pracy pompy. Funkcją `digitalWrite()` wystawia stan wysoki na jeden z pinów sterownika, aby włączyć silnik. Dużą

innowacją okazała się funkcją cofania po skończonym etapie nadsiewania, która dzięki zmianie kierunku obrotu silnika zapobiega kapaniu z wylewki. Algorytm przedstawiono na fragmencie kodu 5.3.

```
void loop() {
  static boolean isNewDataReady = 0;

  if (LoadCell.update()) isNewDataReady = true;
  if (isNewDataReady) {
    float weight = LoadCell.getData();
    isNewDataReady = 0;
    if (weight < 100) digitalWrite(6,HIGH);
    else digitalWrite(6,LOW);
  }

  if(digitalRead(proximitySensor) == 0) turnOnPump(fillingTime);
}

void turnOnPump(double fillingTime)
{
  digitalWrite(7, HIGH);
  digitalWrite(8, LOW);
  analogWrite(9, 255);
  delay(fillingTime*1000);

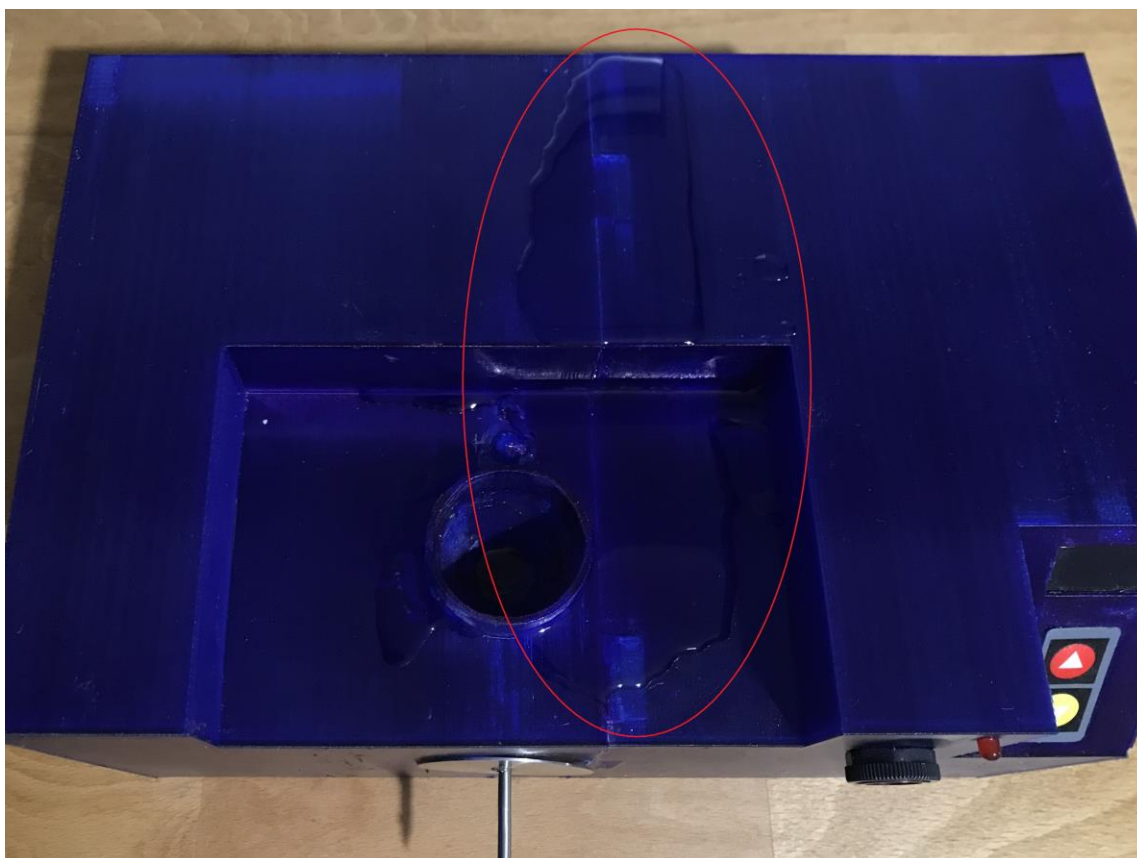
  digitalWrite(7, LOW);
  digitalWrite(8, HIGH);
  analogWrite(9,150);
  delay(200);
  digitalWrite(8, LOW);
}
```

Fragmenc kodu 5.3. Funkcja włączająca pompę na czas określony przez operatora

## 6. Testowanie maszyny

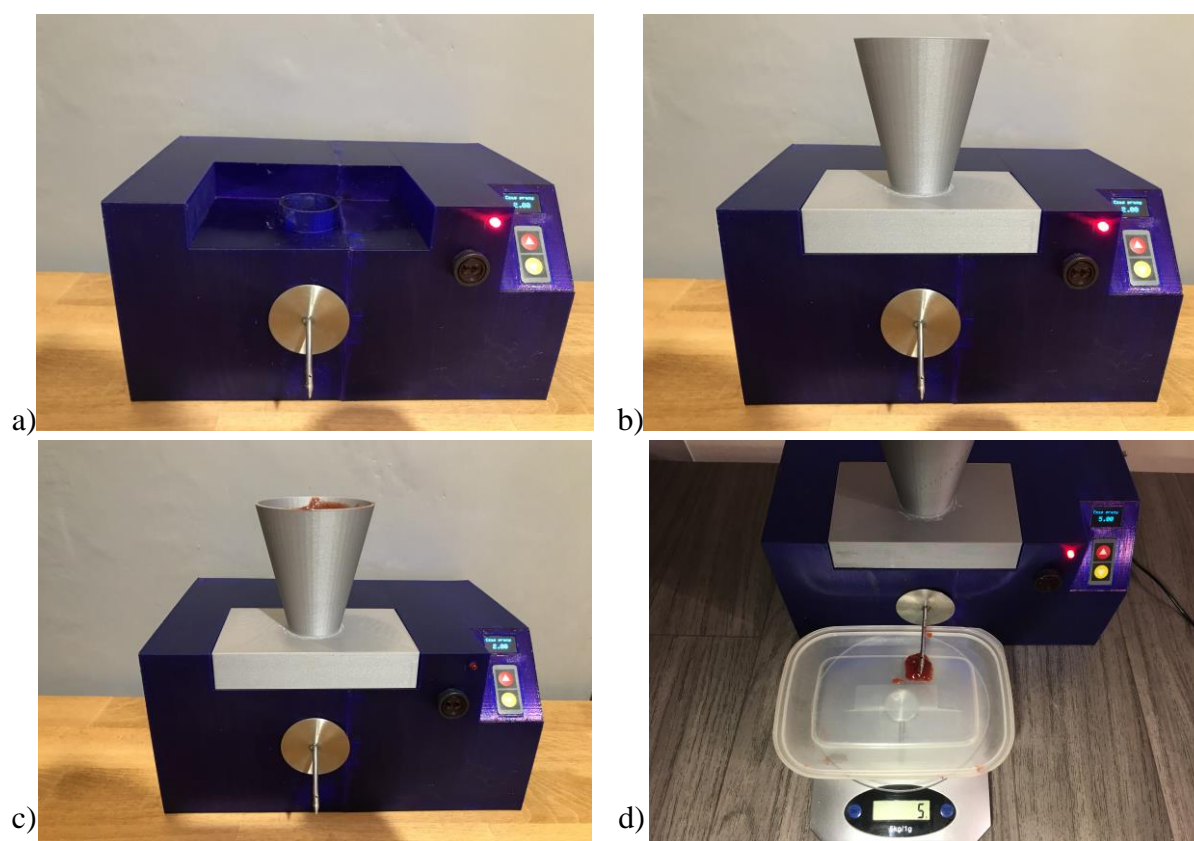
W ramach sprawdzenia poprawności działania prototypu maszyny przeprowadzono szereg testów mających na celu sprawdzenie wykonania obudowy oraz zaimplementowanego oprogramowania.

Przed zamontowaniem wszystkich komponentów elektronicznych przeprowadzono test szczelności obudowy. Zważywszy na ograniczenia drukarki 3D, obudowa musiała zostać podzielona na dwie części, a następnie za pomocą specjalnych wpustów montażowych oraz sylikonu spożywczego obie połowy zostały połączone. Przygotowano miarkę z wodą w środku i polewano obudowę w miejscach najbardziej podejrzewanych o nieszczelność, czyli na łączeniu. Jak przedstawiono na rysunku 6.1 woda zatrzymuje się na obudowie, nie wnikając do jej wewnętrznej części.



Rysunek 6.1. Obudowa maszyny podczas testu szczelności

Algorytm informujący użytkownika o potrzebie uzupełnienia leja nadzieniem na podstawie obliczonej wagi został przetestowany próbując zasymulować jego pracę na hali produkcyjnej. Na początku została uruchomiona maszyna bez umieszczonego leja na górnej części obudowy (rysunek 6.2a) zapalając czerwoną diodę. Po założeniu leja na korpus obudowy, który waży 106 gramów, diodą wciąż się świeciła (rysunek 6.2b). Dopiero po uzupełnieniu leja około 50 gramami marmolady czerwona dioda zgasła, sygnalizując użytkownikowi wystarczające zapełnienie leja do bezpiecznej pracy (rysunek 6.2c), tym samym potwierdzając poprawne działanie algorytmu. Za pomocą klawiatury ustawiono czas trwania procesu nadziewania na 5 sekund, które odpowiada ilości nadzienia wychodzącego przez igłę do nadziewania (rysunek 6.2d).

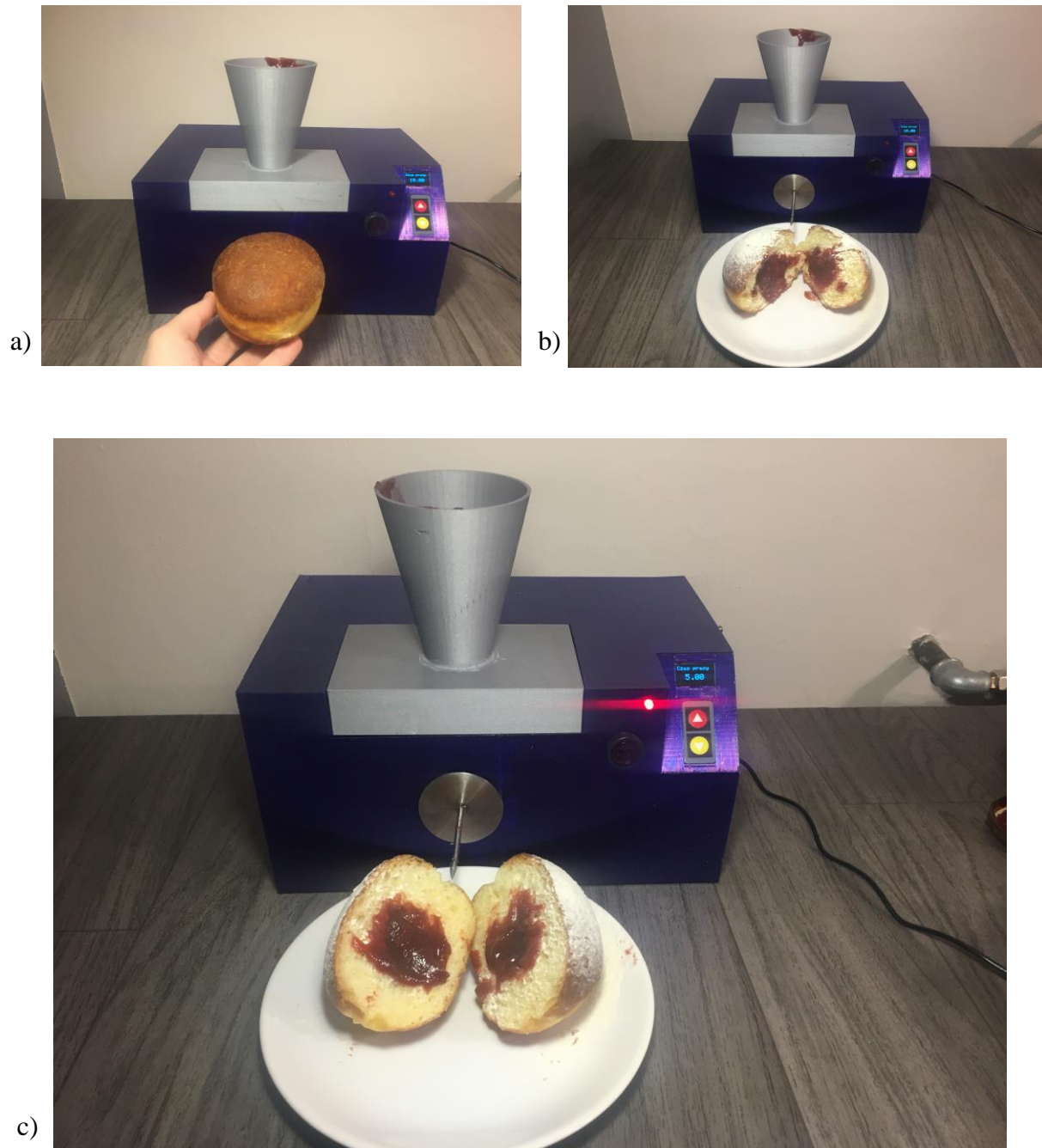


Rysunek 6.2. Maszyna: a) bez umieszczonego leja, b) z umieszczonym lejem, c) z wypełnionym lejem, d) po 5 sekundach pracy pompy

Do ostatni testów przygotowano dwa pączki, które przy pomocy prototypu maszyny zostały nadziane marmoladą. Najpierw pączek został umieszczony na igle (rysunek 6.3a), która wystaje 7 cm poza korpus obudowy, co sprawia, że nadzienie jest umieszczane w środkowej części wyrobu cukierniczego. Następnie ustawiono czas pracy maszyny na 10 oraz



5 sekund i uruchomiono maszynę zbliżając palec do czujnika odległości. Chcąc pokazać rezultaty nadziewania przekrojono oba pączki na pół (rysunek 6.3b, 6.4c). Poprzez ten test udowodniono, że maszyna działa poprawnie i wyniki jej pracy są w pełni zadowalające.



Rysunek 6.3. Pączek: a) nadziany na igle, b) wypchniony 10 g marmolady, c) wypchniony 5 g marmolady

## 7. Kosztorys opracowanego prototypu

Jak już wspomniano w rozdziale drugim dostępne na rynku automatyczne nadziewarki do pączków są bardzo drogie i małe zakłady, które nie dysponują wystarczającym budżetem na inwestycję są zmuszone do korzystania z ręcznych odpowiedników. Głównym powodem dla którego autor pracy postanowił opracować prototyp automatycznej nadziewarki była chęć pokazania, że można zbudować maszynę, nie odbiegającą funkcjonalnością od istniejących maszyn, na którą każdy mały zakład produkcyjny znajdzie środki w celu zakupu. A nawet aby większe zakłady wykorzystały ją jako maszynę zapasową w momencie awarii profesjonalnego odpowiednika lub by przyspieszyć proces nadziewania w trakcie wzmożonej produkcji, np. Tłusty Czwartek.

Cena wszystkich komponentów elektronicznych wykorzystanych do złożenia działającego prototypu wyniosła tylko 185.94 zł. Do sumy nie uwzględniono kosztów etapu drukowania obudowy. Oprogramowanie drukarek pokazują ilość potrzebnego filamentu do wydruku wczytanego modelu. Do wydrukowania korpusu potrzebne było około 600 g materiału PETG, a na pozostałe części około 110 g PLA. Biorąc po uwagę, że szpula 1 kg filamentu kosztuje średnio 100 zł, koszt wykorzystanego materiału wyniósł niecałe 70 zł. Nie wzięto również pod uwagę ceny wykorzystanych śrub montażowych, silikonu spożywczego, płyty plexi oraz wykonanej samodzielnie igły do nadziewania.

Podsumowując ceny komponentów elektronicznych, filamentu oraz pozostałych części koszt zbudowania prototypu maszyny do nadziewania wyniósł zaledwie 355.94 zł. Cena opracowanego prototypu jest aż 28 krotnie niższa porównując do ceny maszyny firmy Magorex, za którą trzeba zapłacić 10000 złotych.

## 7. Podsumowanie

Celem pracy było opracowanie, budowa oraz implementacja automatycznej maszyny do nadziewania produktów cukierniczych. Zachowując zgodność z opracowanymi celami szczegółowymi, udało się zrealizować główny cel pracy. Uzasadniono wybór użytych komponentów elektronicznych. Zaprojektowano i wykonano układ elektryczny będący kontrolerem maszyny. Wszystkie komponenty zostały umieszczone w specjalnie zaprojektowanej obudowie, której prototyp został stworzony za pomocą drukarek 3D. Zaimplementowano oprogramowanie, działające na platformie Arduino, które pozwala sterować czasem pracy pompy oraz ją uruchamiać przy pomocy czujnika. Ponadto na podstawie odczytu z belki tensometrycznej informuje operatora o potrzebie uzupełnienia leja. Wykonane w rozdziale 6 testy potwierdzają, że opracowane rozwiązania działają właściwie.

Zaproponowane rozwiązania nie wyczerpują w całości problematyki przedstawionej pracy, ponieważ wykonana maszyna została opracowana jako prototyp, która dała możliwość oceny opracowanych rozwiązań oraz umożliwiła zdiagnozowanie obszarów wymagających udoskonalenia. Część odpowiedzialna za pomiar wagi może zostać dopracowana pod względem odporności na zakłócenia, poprzez dodanie dodatkowych belek tensometrycznych, które będą mierzyły naprężenia w kilku miejscach, odrzucając błędne pomiary. Dodatkowo, by zwiększyć wydajność maszyny do nadziewania należy zaprojektować własną pompę perystaltyczną, która umożliwi wykorzystanie wężyka o większej średnicy, powodując tym samym zwiększenie przepływu. Rozwiązanie to spowoduje skrócenie czasu nadziewania produktów. Zważywszy na fakt, że maszyna posiada czujnik poziomu wypełnienia leja istnieje możliwość dodania systemu, który automatycznie będzie uzupełniał zbiornik wykorzystywanym nadzieniem.

## Bibliografia

- [1] P. Demetrakakes, „Automation Makes Inroads into Baking,” 30 01 2020. [Online]. Available: <https://www.foodprocessing.com/articles/2020/automation-makes-inroads-into-baking/>. [Data uzyskania dostępu: 25 12 2020].
- [2] N. Brian, Handbook of Pumps and Pumping, 2006.
- [3] „Magorex,” [Online]. Available: <https://magorex.pl/produkty/urządzenia/>. [Data uzyskania dostępu: 25 12 2020].
- [4] „Unifiller Systems,” [Online]. Available: <https://www.unifiller.com/bakery-machine/elf-400>. [Data uzyskania dostępu: 26 12 2020].
- [5] „Polmarkus,” [Online]. Available: <https://sklep.polmarkus.com.pl/urządzenia-dozujace/nadziewarka-automatyczna-do-paczkow-z-lejem-cylindrycznym-14-l-111844?from=listing&campaign-id=12>. [Data uzyskania dostępu: 26 12 2020].
- [6] „Raspberry PI,” [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-4-model-b/>. [Data uzyskania dostępu: 26 12 2020].
- [7] „Arduino,” [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/>.
- [8] „Arduino Nano,” [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/arduino-nano>. [Data uzyskania dostępu: 26 12 2020].
- [9] „Pompa perystaltyczna,” [Online]. Available: <https://www.zonemaker.com/product/2460/dc-12v-d4-peristaltic-liquid-pump-dosing-pump-19-100-ml-min>. [Data uzyskania dostępu: 26 12 2020].
- [10] P. S. Rao i R. G. Bhanodaya, „Performance analysis of peristaltic pump with non-newtonian fluid: A taguchi approach,” Materials Today: Proceedings.
- [11] D. Filip, „Digiprint Supplies Printlak,” Operating principles of liquid pumps, 17 09 2015. [Online]. Available: <https://printalk.wordpress.com/2015/09/17/operating-principles-of-liquid-pumps/>. [Data uzyskania dostępu: 26 12 2020].
- [12] H. Technology, „L298N Dual H-Bridge Motor Driver,” [Online]. Available: <http://www.handsontec.com/dataspecs/L298N%20Motor%20Driver.pdf>. [Data uzyskania dostępu: 27 12 2020].
- [13] J. B. Burland, T. Chapman, H. Skinner i M. Brown, „ICE Manual of Geotechnical Engineering, Volume 2 - Geotechnical Design, Construction and Verification,” ICE Publishing, 2012, pp. 1389-1392.

- [14] „HX711,” 24-bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales, [Online]. Available: [http://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/hx711\\_english.pdf](http://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/hx711_english.pdf).
- [15] „Belka tensometryczna wraz z modulem HX711,” [Online]. Available: <https://allegro.pl/oferta/modul-hx711-tensometr-belka-tensometryczna-10kg-8277002512?snapshot=MjAyMC0xMS0wMIQxNDoyMDoxNC40ODhaO2J1eWVyO2RkZjIhMDQ1ODkwNWM4MTQwY2Q2MWUxNmFkMzY5YTg3M2NIYjY0NTU2MjVhMzg0NWZlYWlzMzNTk2YWUzYjgwNmM%3D>. [Data uzyskania dostępu: 28 12 2020].
- [16] „Regulowany czujnik odległości E3F-DS30C4,” [Online]. Available: <https://abc-rc.pl/product-pol-15167-Regulowany-Czujnik-odleglosci-E3F-DS30C4-NPN-NO-0-30cm-6-36V-3A.html>. [Data uzyskania dostępu: 30 12 2020].
- [17] A. Prędecka, M. Węgrzyn, E. Sulak i M. Sowa, „Study on the Concentration of Total Dust on the Baker’s Stand – Case Study,” 2016.
- [18] „Wanhao Duplicator 6 Plus,” [Online]. Available: <https://www.wanhao3dprinter.com/Unboxin/ShowArticle.asp?ArticleID=74>.
- [19] F. Santos, H. Rebelo, M. Coutinho, L. Sutherland, C. Cismasiu, I. Farina i F. Fraternali, Low velocity impact response of 3D printed structures formed by cellular metamaterials and stiffening plates: PLA vs. PETg, Composite Structures.
- [20] „Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG) Material Properties,” [Online]. Available: <https://dielectricmfg.com/knowledge-base/petg/>. [Data uzyskania dostępu: 2 01 2021].
- [21] HX711\_ADC, „Arduino library for the HX711 24-bit ADC for weight scales,” [Online]. Available: [https://github.com/olka1/HX711\\_ADC](https://github.com/olka1/HX711_ADC). [Data uzyskania dostępu: 03 01 2021].
- [22] Adafruit\_SSD1306, „Library for Monochrome OLEDs based on SSD1306 drivers,” [Online]. Available: [https://github.com/adafruit/Adafruit\\_SSD1306](https://github.com/adafruit/Adafruit_SSD1306). [Data uzyskania dostępu: 03 01 2021].