



**Politechnika
Śląska**

PROJEKT INŻYNIERSKI

„Model urządzenia wspierającego wymaz krwi”

Marek GAŁECZKA

Nr albumu: 296799

Kierunek: Automatyka i Robotyka

Specjalność: Technologie Informacyjne

PROWADZĄCY PRACĘ

dr hab. inż. Tomasz Przybyła

KATEDRA Cybernetyki, Nanotechnologii i Przetwarzania Danych

Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki

GLIWICE 2024

Tytuł pracy:

„Model urządzenia wspierającego wymaz krwi”

Streszczenie:

Praca dotyczy problemu rozmazu krwi jako elementu badania laboratoryjnego. Celem tego projektu jest usprawnienie pracy laboratoriów medycznych dzięki automatyzacji czynności zwykle wykonywanych przez człowieka. Zaprojektowano i zrealizowano urządzenie wykonujące rozmaz krwi, dające akceptowalne i powtarzalne wyniki. Do projektu wykorzystano: elementy często spotykane jako podzespoły drukarek 3D, system mikroprocesorowy, silnik krokowy oraz oryginalne części wydrukowane w 3D. Zwieńczeniem projektu są testy przeprowadzone na substancji o gęstości zbliżonej do krwi.

Słowa kluczowe:

rozmaz krwi, system mikroprocesorowy, silnik krokowy, urządzenie, Autodesk Inventor

Thesis title:

"Blood smear support device model"

Abstract:

The project addresses the problem of blood smear as an element of a laboratory examination. The aim is to improve the work of medical laboratories by automating activities done by humans. The device was designed and created providing repeatable and acceptable results. The project use from: elements often found as components of 3D printers, a microprocessor system, a stepper motor and original 3D printed parts. The projects culminates in tests carried out on substance with density similar to blood.

Keywords:

blood smear, microprocessor system, stepper motor, device, Autodesk Inventor

Spis treści

Rozdział 1 Wstęp.....	1
Rozdział 2 Analiza tematu.....	2
Rozdział 3 Cel pracy.....	4
Rozdział 4 Konstrukcja i specyfikacja zewnętrzna	6
Rozdział 5 Oprogramowanie	15
Rozdział 6 Testy urządzenia.....	21
Rozdział 7 Podsumowanie i wnioski.....	24
Bibliografia.....	26
Spis skrótów i symboli	27
Źródła	28
Spis rysunków	29

Rozdział 1

Wstęp

Rozmaz krwi jest jednym z najważniejszych etapów badania morfologicznego. Dobrze wykonany rozmaz jest w stanie przedstawić wiele cech krwi pacjenta. Jest to element badania morfologicznego, czyli jednego z najważniejszych i najpopularniejszych badań, które wykonuje się codziennie wielu pacjentom. Proces rozmazu powinien być wykonany w pełni poprawnie, z zachowaniem odpowiednich warunków sterylności, co ważniejsze, odpowiednie rozmazanie krwi gwarantuje szybką pracę lekarza w analizowaniu próbki, a to prowadzi bezpośrednio do usprawnienia całego procesu diagnostyki. Proces ten powinien być dokładny, skuteczny i sterylny. Niestety, w polskich laboratoriach medycznych nie ma dostępu do robotów zajmujących się tą czynnością. Całość jest wykonywana ręcznie przez człowieka. Z wywiadu przeprowadzonego w laboratorium medycznym w Śląskim Centrum Chorób Serca wynika, że na jedną placówkę przypada ok. jedna osoba, która jest w stanie wykonać odpowiedni rozmaz tak, aby można było z niego wyciągnąć potrzebne informacje. Jest to więc ciężka praca dla człowieka, ponieważ wymaga ona bardzo dużej precyzji. Taką dokładność może jednak osiągnąć maszyna.

Rozdział 2

Analiza tematu

W rozdziale tym zostanie przedstawiony problem rozmazu krwi: definicja, sposób jego przeprowadzenia, parametry analizy, alternatywne metody analizy krwi.

2.1 Wprowadzenie do tematu

Rozmaz krwi to badanie laboratoryjne. Polega ono na mikroskopowej ocenie krwi. Oceniane zostają krwinki czerwone, białe oraz płytki krwi. Tą samą nazwą określany jest także preparat mikroskopowy (barwiony lub niebarwiony) używany do tego badania.

Badanie krwi przeprowadza się, ponieważ dostarcza ono wiele informacji o stanie człowieka, może pomóc we wcześniejszym wykryciu chorób. Ułatwia znajdowanie nieprawidłowości, które w czasie mogą rozwinąć się w poważne choroby lub inne dolegliwości.

Celem tego projektu jest stworzenie urządzenia, które będzie wyřęczać w tej pracy człowieka.

2.2 Proces rozmazu krwi

Proces rozmazu krwi przebiega w następujący sposób: Na początku pobierany zostaje materiał. Jest to krew pacjenta. Kolejnym etapem jest przygotowanie szkieł, na których opierać się będzie całe badanie. Przynajmniej jedno z nich musi być szkiełkiem ze ściętymi brzegami. Ułatwia to proces rozmazu. Następnie szkiełka są dezynfekowane alkoholem, służy to do pozbycia się wszelkich bakterii i tłuszczu. Dodatkowo szkiełka podzielić można na aktywne – służy do rozmazu, oraz statyczne – odbywa się na nim rozmaz krwi. Na szkiełku podstawowym, w niewielkiej odległości od krótszego końca, umieszcza się małą kroplę krwi. Następnie szkiełkiem rozmazującym, który do powierzchni statycznego jest ułożone pod kątem 45°, dotyka się kropli krwi. W tym momencie można wykonać lekkie drobne ruchy szkiełkiem aktywnym, aby krew odpowiednio rozeszła się po krótszej krawędzi. Kolejnym krokiem jest jednostajny ruch szkiełkiem rozmazującym po powierzchni podstawowego. Preparat powinien wyglądać tak jak na zdjęciu poniżej.



Rys. 1. - Rozmaz krwi człowieka. Preparat niebarwiony.

Następnie, aby wyciągnąć odpowiednie dane spod mikroskopu preparat musi zostać wysuszony i zabarwiony specjalnymi odczynnikami. Barwienie pozwala na nadanie koloru poszczególnym cząsteczkom znajdującym się w krwi. Dzięki temu można je wyraźnie zobaczyć pod mikroskopem.

2.3 Parametry Analizy

Standardowe badanie krwi opiera się na analizie konkretnych parametrów. Przede wszystkim jest to jakościowa i ilościowa ocena elementów morfotycznych krwi. Parametry przedstawione są poniżej:

- Erytrocyty (RBC) – liczba czerwonych krwinek,
- Leukocyty (WBC) – liczba białych krwinek,
- Trombocyty (PLT) – liczba płytek krwi,
- MCV – średnia objętość krwinki czerwonej,
- MCH – średnia masa hemoglobiny w krwince,
- MCHC – średnie stężenie hemoglobiny w krwince,
- HGB – stężenie hemoglobiny,
- HCT – wartość hematokrytu.

2.4 Inne metody analizy morfologicznej krwi

Inną metodą badania morfologicznego krwi jest Cytometria. Metoda ta bada krew za pomocą wiązki lasera, przez którą przepływa próbka. Pozwala to na analizę cech komórek taką jak długość, ilość, stężenia jonów wapnia itd. Cytometria przepływowa ma jednak wadę, nie zawsze jej wyniki są w pełni wiarygodne, ponieważ nieodpowiednie przygotowanie próbek skutkuje nieprawidłowościami w wyniku.

Odpowiednio przeprowadzony rozmaz krwi analizowany pod mikroskopem jest w stanie wyciągnąć bezbłędne wnioski. Dlatego jest to lepsze rozwiązanie w laboratorium. Niestety problemem jest zbyt mała ilość personelu potrafiącego odpowiednio przygotować rozmaz.

Rozdział 3

Cel pracy

Celem pracy tego projektu inżynierskiego jest stworzenie modelu urządzenia wspomagającego proces wymazu krwi.

Cele pośrednie:

- zbudowanie ramy urządzenia,
- zaprojektowanie i złożenie napędu urządzenia,
- zaprojektowanie i złożenie mechanizmu wykonującego rozmaz krwi,
- zaprogramowanie funkcjonalności urządzenia,
- łatwa obsługa urządzenia,
- prosta wymiana elementów niestałych urządzenia (szkiełka mikroskopowe),
- prostota w zachowaniu sterylności urządzenia.

3.1 Koncepcja urządzenia

W wywiadzie przeprowadzonym w Śląskim Centrum Chorób Serca kierownik laboratorium jasno stwierdziła, że na rynku nie ma dającego odpowiednie wyniki urządzenia, które pracę tę wykonywałoby za człowieka. Ponadto na całe laboratorium przypada tylko jedna osoba, której rozmazy dają oczekiwane efekty. Automatyzacja tej czynności, oraz powtarzalność wyników jakich się oczekuje od rozmazu idealnie nadaje się do zrobotyzowania. Nic tak jak robot nie jest w stanie dawać tych samych efektów za każdym powtórzeniem czynności.

Urządzenie takie powinno imitować ruch ręki człowieka, oznacza to że szkiełko aktywne powinno swobodnie opierać się o szkło podstawowe. Dzięki wyliczeniom i odpowiednim ustawieniom chwytaków można osiągnąć taki efekt. Dobrym rozwiązaniem tego projektu jest zastosowanie mechanizmów wykorzystywanych w drukarkach 3D. Dzięki wałkom, osiom oraz łożyskom liniowym możliwe jest stworzenie układu pozwalającego na ruch.

Wykorzystując pasek zębaty, łożysko i silnik krokowy można wykonać mechanizm poruszający układem ruchomym. Do stabilizacji szkiełka rozmazującego, aby te zachowywało statyczność poziomą i pionową, można wykorzystać parę prętów wzajemnie połączonych ze sobą. Tym sposobem można osiągnąć powtarzalną imitację ruchu rąk człowieka, a tym samym zastąpić błąd ludzki znacznie mniejszym błędem maszyny.

3.2 Instrukcja obsługi docelowego urządzenia:

Po podłączeniu urządzenia do zasilania pierwszy i następne cykle pracy powinny wyglądać w następujący sposób:

Krok 1: Szkiełka laboratoryjne: podstawowe (statyczne) i rozmazujące (aktywne) umieszczane są w przeznaczonych dla nich miejscach. Zdezynfekowane i przemyte szkiełko statyczne powinno zostać osadzone w miejscu przy podstawie urządzenia, natomiast szkło aktywne w chwytaku, przykryte silikonową wkładką i związane klamerką biurową.

Krok 2: Dolny koniec szkiełka aktywnego przymocowanego do ruchomej głowicy umieszczony zostaje w połowie długości szkła podstawowego.

Krok 3: Wciśnięty zostaje przycisk po raz pierwszy, tym samym rozpoczyna się proces kalibracji.

Krok 4: Na szkiełko podstawowe nałożona zostaje kropla krwi (około 1 cm od jego lewej krawędzi).

Krok 5: Wciśnięty zostaje przycisk po raz drugi, proces rozmazu rozpoczyna się.

Krok 6: Po skończonym procesie rozmazu urządzenia delikatnie ściągana zostaje klamerka razem ze szkiełkiem laboratoryjnym (aktywnym).

Krok 7: Ściągany zostaje z urządzenia rozmaz na szkiełku podstawowym. Przechodzi w dalsze etapy postępowania badania morfologicznego.

Rozdział 4

Konstrukcja i specyfikacja zewnętrzna

4.1 Konstrukcja

Podstawą tego urządzenia powinna być konstrukcja, która pozwoli na zamocowanie do niej wszystkich komponentów. W tym przypadku taka rama składa się z elementów:

- Profil aluminiowy V-slot 2020, 240mm x6,
- Profil aluminiowy V-slot 2040, 240mm x1,
- Łącznik kątowy narożny 2020 do profili x2,
- Łącznik kątowy L-type 2020 M4 x8,
- Wkręty dociskowe M3/4mm x16,
- Śruba z łbem grzybkowym na imbus M6/6mm x4.

Taka konstrukcja pozwala na zamontowanie wszystkich elementów, aby te współdziałały ze sobą oraz zapewni miejsce na prace manualne związane z elementami, które trzeba konserwować, bądź wymieniać jak na przykład szkiełka laboratoryjne. Ponadto szkielet jest bardzo stabilny, dzięki odpowiedniemu montażowi łączników kątowych udało się otrzymać kąt prosty między dwoma płaszczyznami. Jest to bardzo ważna informacja, gdyż cały robot musi zachować odpowiednie kąty w trakcie pracy szkiełek, inaczej rozmaz nie powiódłby się.

4.2 Mechanizm

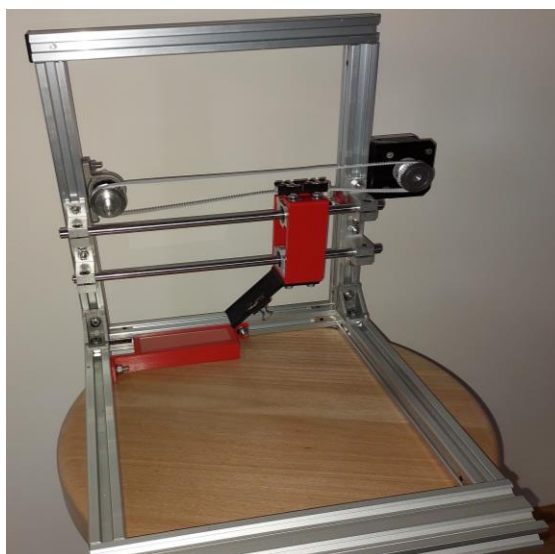
Mechanizm jest głównym elementem całego urządzenia. To właśnie dzięki niemu i jego współpracy z silnikiem krokowym oraz mikrokontrolerem, o których więcej informacji znajdzie się w następnej części, możliwe jest odpowiednie działanie niniejszego projektu. Do mechanizmu wykorzystano techniki, które zastosowane są w drukarkach 3D. W skład komponentów mechanizmu wchodzi:

- Wspornik końcowy wałka liniowego 8mm x4,
- Wałek liniowy 8x240mm x2,
- Śruby młoteczkowe M4 20mm x10,
- Nakrętki M4 x10,
- Łożyska liniowe SCS8UU 8mm x2,
- Śrubki M3 8mm x6,
- Zębatka GT2 – \varnothing – 8mm x1,
- Zębatka GT2 – \varnothing – 6mm x1,
- Uchwyt mocujący silnika krokowego x1,
- Śruby M3 10mm x2,
- Nakrętka młoteczkowa M3 x2,
- Łożysko samonastawne w aluminiowej obudowie KP08 – 8mm x1,
- Wałek liniowy 8x100mm x1,
- Pasek zębany 6x600mm x1,
- Spinacze biurowe 20mm x3,
- Mocowanie paska GT2/MXL – 9x40mm – napinacz paska – aluminium x1.

Dodatkowe elementy zaprojektowane przy pomocy programu AUTODESK Inventor wchodzące w skład mechanizmu:

- Podstawka pod szkiełko statyczne x1,
- Podstawka pod szkiełko aktywne x1,
- Uchwyt łączący łożyska liniowe x1.

Zmontowane urządzenie przedstawiono na rysunku poniżej (wraz z zamontowanym silnikiem krokowym):



Rys. 2. - Zmontowany model urządzenia wspomagającego proces rozmazu krwi.

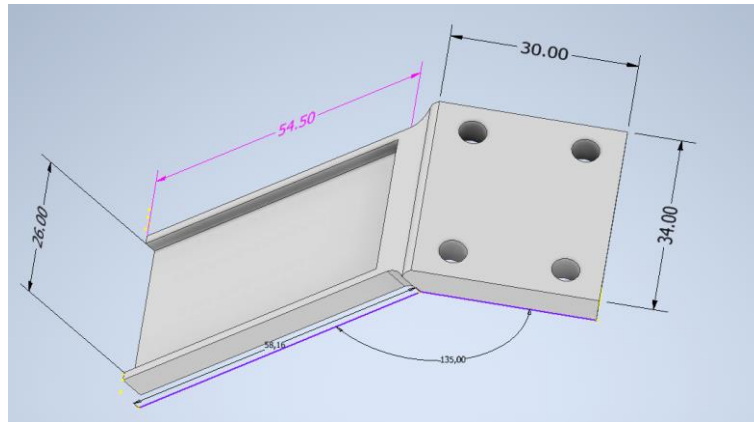
4.2.1 Układ łożyskowy

Na powyższym zdjęciu można zauważyć, że wszystkie elementy łączą się ze sobą tworząc spójną całość. Bardzo ważnym elementem tego urządzenia jest układ łożyskowy. To właśnie od tego układu zależy, czy działanie urządzenia i jego wyniki będą akceptowalne. Szkiełko aktywne jest przymocowane do tego zespołu elementów za pomocą silikonowej wkładki i spinacza biurowego. W trakcie pracy robota powinno ono ślizgać się po szkiełku statycznym dotykając go całą długością krótszej krawędzi. Dlatego tak ważna w tym urządzeniu jest stabilizacja pionowa. Taki efekt został osiągnięty poprzez wykorzystanie pary łożysk liniowych i połączeniu ich ze sobą. Taka konstrukcja jest trwała, pozwala na wzajemne poruszanie się elementów ruchomych oraz zapewnia dużą stabilność szkiełka aktywnego.

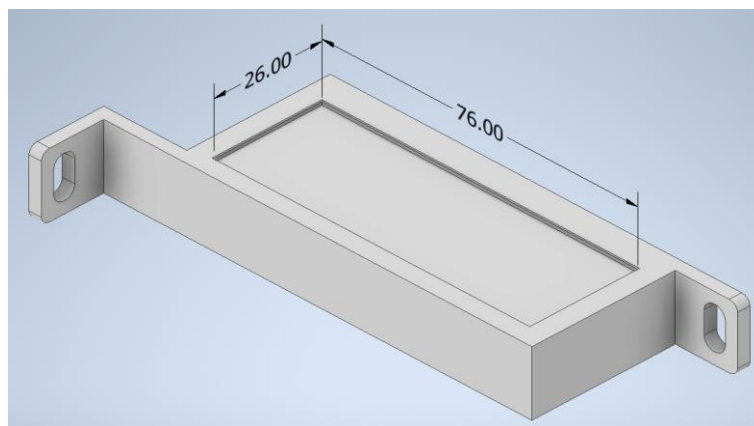
4.2.2 Układ napędowy

Kolejnym modułem na który warto zwrócić uwagę jest układ napędowy. Sprawia on, że połączone ze sobą łożyska są w stanie przesuwają się w tym samym kierunku, czego następstwem jest wprawianie szkiełka aktywnego w ruch. Moduł ten odpowiada za pracę urządzenia. Pasek zębaty jest zamocowany do 3 elementów. Dwie z nich to zębátky. Pierwsza, mniejsza ($\varnothing - 6\text{mm}$), przymocowana do wałka silnika krokowego, a kolejna, większa ($\varnothing - 8\text{mm}$), do specjalnego zespołu elementów – wspornika zębátky. Składa się on z krótkiej osi ($\varnothing - 8\text{mm} / 100\text{mm}$) oraz łożyska samonastawnego. Ta konstrukcja pozwala na obrót zębátky. Trzecim miejscem styku paska z układem jest mocowanie tego elementu do łożysk liniowych. Składa się on z dwóch spinaczy biurowych oraz napinacza paska. Spinacze wkręcone zostały za „łapki” do łożyska liniowego na śrubki M3, a napinacz został dzięki nim zakleszczony. W takim układzie pasek nie jest w stanie wydostać się z tego modułu, co pozwala na sprawną pracę urządzenia.

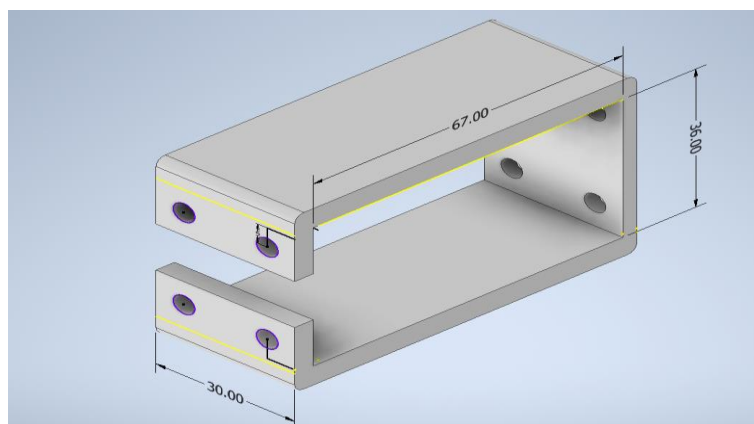
Zaprojektowane w programie AUTODESK Inventor elementy, znajdują się na zdjęciach poniżej:



Rys. 3. - model elementu służącego do mocowanie szkiełka aktywnego.



Rys. 4. - model elementu służącego do mocowania szkiełka statycznego.



Rys. 5. - model elementu służącego do łączenia łożysk liniowych.

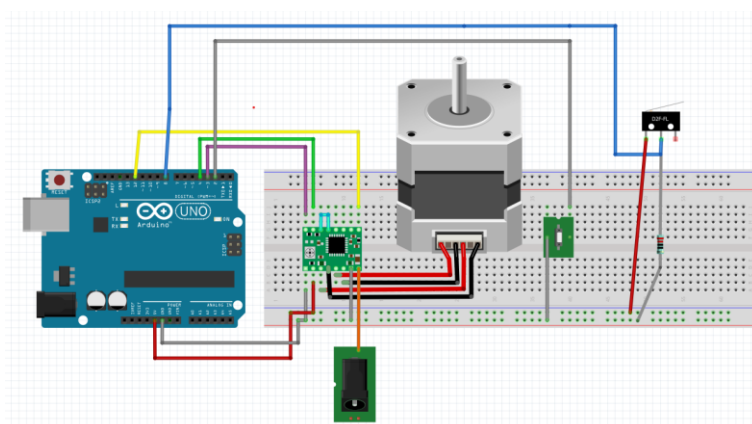
4.3 Realizacja sprzętowa

Elementy wchodzące w skład hardware nie są liczną grupą. Priorytetem urządzenia była prostota i skuteczność wykonania. Realizacja sprzętowa składa się z:

- UNO R3 CH340 Atmel ATmega328 16MHz x1,
- Silnik krokowy NEMA17 – 42HD2037-01 x1,
- Kable m-m x17,
- Sterownik silnika krokowego A4988 x1,
- Moduł krańcówki WK320 z przewodem x1,
- Przycisk unipolarny x1,
- Zasilacz 12V x1,
- Szybkozłączka DC 12V x1.

Podstawą tej części urządzenia jest mikrokontroler. Wykorzystano UNO R3, ponieważ jest to tańsza alternatywa do Arduino UNO. Przede wszystkim jest on kompatybilny z Arduino IDE, co pozwala na łatwe programowanie tego kontrolera. Ponadto jest to uniwersalny komponent, wykorzystywany do różnego rodzaju projektów i od wielu lat sprawdza się na rynku. Obsługuje on także napięcie 5V, a to jest przydatne do współpracy z innymi podzespołami tego projektu.

Schemat wykonany za pomocą aplikacji FRITZING przedstawiono na ilustracji poniżej. Oprogramowanie to pomogło w czytelnym przedstawieniu okablowania całego modułu. Dla czytelności w dalszej części tego rozdziału całe urządzenie zostało rozdzielone na podukłady:



Rys. 6. - Schemat podłączenia wszystkich elektronicznych podzespołów urządzenia.

Pierwszym elementem jest silnik krokowy i jego sterownik. Sterownik A4988 jest popularny wśród maszyn CNC oraz przy budowie drukarek 3D. Został on wybrany z powodu jego prostego interfejsu i niewielkiej ceny. Ponadto jest on kompatybilny z dużą ilością kontrolerów. Kolejnym argumentem jest jego wysoka ochrona termiczna. Dzięki zastosowanemu radiatorowi na procesorze trudniej jest się mu przegrzać.



Rys. 7. - Zdjęcie silnika krokowego Nema17



Rys. 8. - Zdjęcie sterownika A4988 z radiatorem.

Kolejnym elementem jest sam silnik NEMA17. Jest to uniwersalny oraz popularny silnik wykorzystywany do różnych projektów. Jeden krok silnika przesuwa mechanizm o około 0,37mm, jest równy 1,8 stopnia obrotu całej głowicy. Dzięki temu jest on w stanie precyzyjnie ruszać mechanizmem, przy zachowaniu odpowiedniej szybkości.



Rys. 9. - Zdjęcie modułu wyłącznika krańcowego WK320.

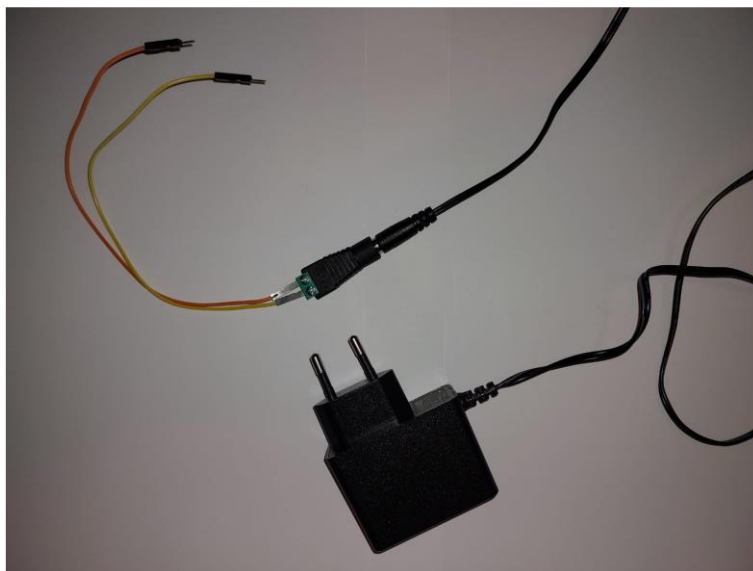
Moduł krańcówki WK320 – zaletą tego komponentu jest prostota jego użycia. Sam element wyłącznika krańcowego został uprzednio wlutowany w dedykowaną płytkę. Kolejnym atutem tego elementu jest jego długi kabel, który można doprowadzić do mikrokontrolera. W takim przypadku moduł krańcowy można oddalić od procesora sterującego.



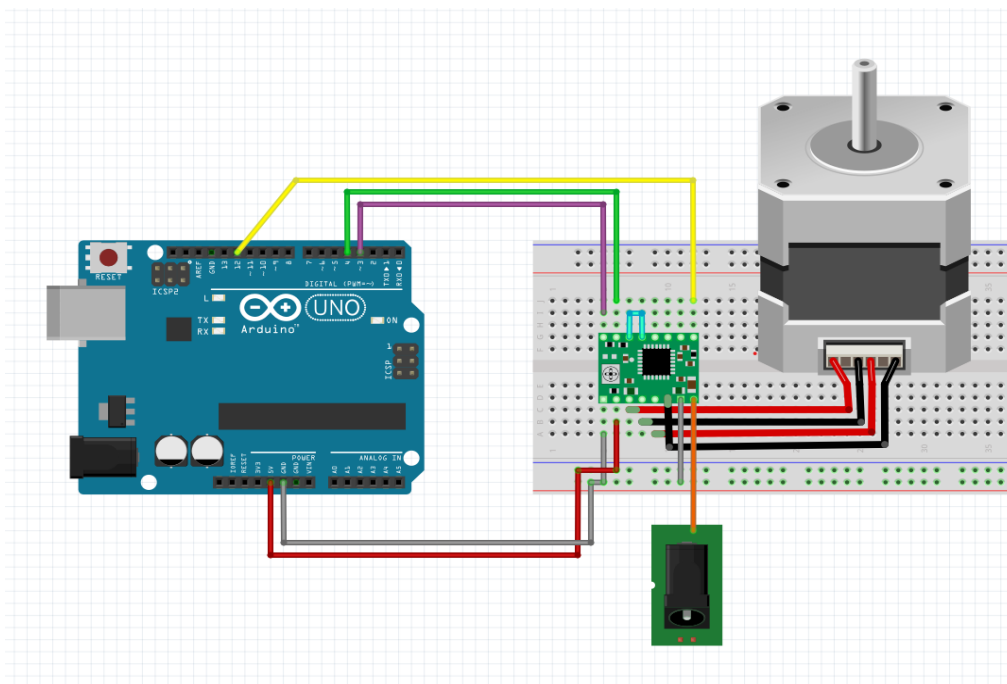
Rys. 10. - Zdjęcie zestawu przycisków unipolarnych.

Kolejnym elementem, jest przycisk unipolarny, który ma za zadanie uruchomić proces wykonywany przez robota. Jest to niezbędny element pozwalający na bezpieczną pracę. Bez niego program robota wykonywałby się w ciągłej pętli, co znacznie utrudniałoby korzystanie z tego urządzenia.

Zasilacz 12V - potrzebny do zapewnienia odpowiedniego podłączenia silnika krokowego. Dla wygody korzystania z zasilacza oraz łatwego podłączenia go do sterownika A4988 wykorzystana została szybkozłączka.



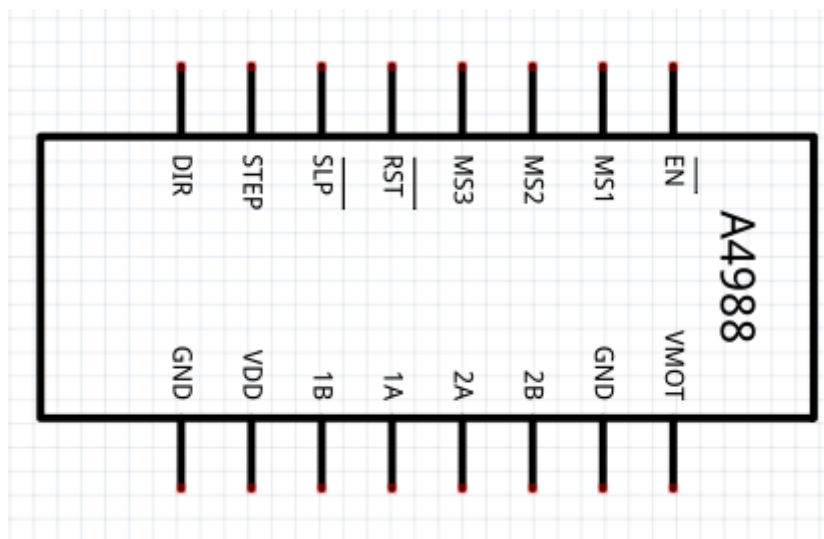
Rys. 11. Zdjęcie zasilacza 12V oraz podłączonej do niego szybkozłączki.



Rys. 12.-

Schemat podłączenia silnika krokowego oraz jego sterownika do mikroprocesora.

Pierwszym podłączonym elementem został sterownik wraz z silnikiem krokowym. Jak można zauważyć na powyższej ilustracji z silnika krokowego wychodzą cztery kable. Przewody odpowiadają kolejno od lewej oznaczeniom – ‘1B’, ‘1A’, ‘2A’, ‘2B’. Kable 1A i 1B odpowiadają więc za wejście i wyjście cewki ‘1’. Inaczej oznaczenia te wyglądają tak: ‘1+’ i ‘1-’. Analogicznie wygląda podłączenie cewki ‘2’. Te cztery kable poprowadzone są do odpowiednich wejść na sterowniku. Od podłączenia tych przewodów zależy kierunek obrotu silnika. Chcąc zmienić ten kierunek, wystarczy zamienić jedną z par przewodów ‘1’, bądź ‘2’.



Rys. 13. - Ilustracja przedstawiająca wejścia sterownika A4988.

Na grafice powyżej można dostrzec nazwy wszystkich wejść do sterownika A4988. Wejścia DIR i STEP oraz ENABLE są bezpośrednio doprowadzone do mikrokontrolera.

DIR – to wejście odpowiada za kierunek poruszania się silnika. Zależnie od podłączenia cewek silnika można sterować kierunkiem obrotu silnika. Zostało ono podłączone do pinu nr 3 na mikrokontrolerze.

STP – to wejście odpowiada za ruch silnika. Przy aktywacji (stan wysoki) silnik wykonuje jeden krok. Zostało ono podłączone do pinu nr 4 na kontrolerze.

SLP – to wejście odpowiada za tryb uśpienia sterownika. Kiedy sygnał jest na stanie niskim sterownik zmniejsza napięcie dostarczane do silnika, co pomaga oszczędzić energię i redukuje generowane ciepło przez sterownik.

RST – to wejście odpowiada za tryb resetu. Na niskim stanie logicznym sterownik zostaje zresetowany, a wszystkie ustawienia przyjmują wartości domyślne.

GND – jest to wejście odpowiedzialne za uziemienie.

VDD – to wejście wykorzystywane do doprowadzenia prądu 5V z mikrokontrolera. Ten sygnał zasila sterownik.

VMOT – jest to wejście do którego doprowadzany zostaje sygnał z zasilacza 12V. Służy ono do dostarczenia odpowiedniego napięcia do silnika.

EN – odpowiada za włączanie, bądź wyłączanie cewek silnika zależnie od stanu.

Wyłącznik krańcowy i przycisk to bardzo podobne elementy. Przycisk wykorzystuje pin DIGITAL INPUT na mikrokontrolerze oraz GND. Natomiast do modułu przycisku krańcowego doprowadzony jest pin zasilający 5V, aby cały element mógł poprawnie działać.

Rozdział 5

Oprogramowanie

Program stworzony na potrzeby tego projektu nie jest wcale skomplikowany, jednak musiał zostać starannie przemyślany. Bezpieczeństwo pracy tego urządzenia musi być zapewnione, ponieważ będzie ono miało styczność z krwią. Substancja ta może być zagrożeniem dla operatora maszyny, ponieważ istnieje ryzyko zakażenia się chorobą właśnie poprzez krew.

Jednymi z pierwszych linii kodu to te, które odpowiedzialne są za zdefiniowanie portów w mikrokontrolerze.

```
#define button 2
#define dir 3
#define stp 4
#define limit 8
#define enable 12
```

Rys. 14. - Fragment kodu przedstawiający definiowanie pinów na płycie procesora.

Mają one na celu zastąpienie numerów pinów słowami, które będą wykorzystywane w następnych liniach. Ma to na celu łatwiejsze zrozumienie kodu, a także jest dużym ułatwieniem pracy. Tak więc na pinach 2, 3, 4, 8 oraz 12 zostały przypisane sygnały z kolejno: przycisku, DIR i STP odpowiadających tym na sterowniku A4988, LIMIT odnoszącego się do przycisku krańcowego oraz ENABLE, które także odpowiada temu na sterowniku silnika krokowego (EN).

```
void setup() {  
    Serial.begin(9600);  
    pinMode(stp, OUTPUT);  
    pinMode(dir, OUTPUT);  
    pinMode(button, INPUT_PULLUP);  
    pinMode(enable, OUTPUT);  
    digitalWrite(enable, HIGH);  
}
```

Rys. 15. - Fragment kodu przedstawiający funkcję *setup()*.

Fragmencem kodu, który został zamieszczony powyżej jest ten, który odpowiada za przygotowanie mikrokontrolera do pracy. Komenda „Serial.begin(9600)” inicjalizuje komunikację szeregową z prędkością transmisji równą 9600 bitów na sekundę. Jest to powszechna prędkość transmisji wykorzystywana przy komunikacji kontrolera z komputerem.

Następne linie odnoszą się do zainicjowania odpowiednich pinów i przypisania im funkcji wejścia (INPUT), bądź wyjścia (OUTPUT). Sygnały STP, DIR oraz ENABLE określone zostały jako wyjścia, ponieważ aktywować będziemy je za pomocą kodu. Te sygnały będą wysyłane do odpowiednich urządzeń, dlatego zostały tak określone. Sprawa ma się inaczej ze zdefiniowanym BUTTON, ponieważ urządzenie zostało skonstruowane tak, aby aktywować je przyciskiem. Z tej racji został on przypisany jako INPUT_PULLUP. Oznacza to, że urządzenie będzie odbierać sygnał z pinu nr 2. Co więcej za pomocą użycia argumentu INPUT_PULLUP przycisk domyślnie został podciągnięty do stanu wysokiego przy pomocy wewnętrznego rezystora pull-up. Oznacza to, że jeśli przycisk jest nieaktywny jego stan jest zawsze wysoki, a po naciśnięciu zmienia się na niski. Taka konfiguracja pozwoliła zmniejszyć liczbę kabli i ułatwić pracę na przycisku. Ostatnią i dość ważną linią tej funkcji jest „digitalWrite(enable,HIGH)”. Pozwala ona na sterowanie cewkami silnika krokowego. Zmienna ENABLE, która została przypisana do pinu nr 12 jest następnie poprowadzona do wejścia EN na sterowniku A4988. Ta linijka kodu włącza, bądź wyłącza cewki silnika krokowego zależnie od stanu. Na stanie wysokim (HIGH) cewki są wyłączone, aby je włączyć trzeba ustawić pin ENABLE na stan niski (LOW). Wyłączony silnik pozwala na zaoszczędzenie energii, oraz nie wydaje on charakterystycznego dla silników krokowych pisku.

Kolejnym fragmentem kodu jest ten odpowiadający za działanie mikroprocesora. To funkcja *loop()*, która działa ciągle po zakończeniu funkcji *setup()*. W tym miejscu kodu odbywa się cały program urządzenia.

```
void loop() {  
  
    if(digitalRead(button) == LOW) {  
        but_val += 1;  
    }  
  
    if(but_val == 1) {  
        calib();  
        but_val += 1;  
    }  
    if(but_val == 3) {  
        work(); delay(500);  
        but_val = 0;  
    }  
}
```

Rys. 16. - Funkcja główna kodu, odpowiedzialna za działanie całego programu.

Działanie urządzenia odbywa się w ten sposób:

Jeśli przycisk zostanie wciśnięty raz rozpoczyna się kalibracja urządzenia. Przy kolejnej aktywacji przycisku urządzenie przejdzie w tryb pracy i wykona rozmar.

Ten fragment kodu gwarantuje takie działanie urządzenia. Na początku porównuje wartości stanu przycisku. Jeśli przycisk zostaje naciśnięty zmienna *but_val*, do której zostało przypisane 0 na początku programu, zwiększa się o 1. Powoduje to szereg kolejnych zdarzeń, ponieważ jeśli następne porównanie otrzyma wiadomość, że wartość tej zmiennej wynosi 1 rozpocznie się funkcja kalibracji – *calib()* oraz wartość zmiennej znów zwiększy się o 1. Zwiększenie wartości jest tutaj konieczne. Jeśli zmienna pozostałaby na wartości 1, w kolejnej iteracji funkcji *loop()* znów uruchomiona została by funkcja *calib()*. Przy następnym wciśnięciu przycisku wartość *but_val* będzie wynosić 3, a to oznacza, że warunek zostanie spełniony i uruchomi się funkcja *work()* odpowiedzialna za pracę docelową urządzenia. Po zakończeniu tej funkcji program poczeka pół sekundy i zmieni wartość *but_val* z powrotem na 0, co będzie oznaczało powrót do stanu początkowego.

Funkcja *calib()* odpowiada za kalibrację urządzenia, czyli wprowadzenie go w stan początkowy tak, aby praca urządzenia zawsze zaczynała się od tego samego miejsca. Odbywa się to poprzez nakazanie modułowi odpowiadającemu za ruch poruszanie się do tyłu względem rozmazywanego szkiełka, aż napotka wyłącznik krańcowy. Sygnał zwrócony przez moduł wyłącznika spowoduje przesunięcie się szkiełka o jakąś wartość kroków do przodu, tak aby ustawiło się ono w ustalonej pozycji.

```
void calib(){

    digitalWrite(enable,LOW);
    digitalWrite(dir,LOW);
    for(int i=0; i<2000; i++){

        if(digitalRead(limit) == HIGH){

            digitalWrite(stp,HIGH);   delay(5);|
            digitalWrite(stp,LOW);    delay(5);
        }
        else{

            digitalWrite(dir,HIGH);
            for(int j=0; j<calib_length; j++){
                digitalWrite(stp,HIGH);   delay(10);
                digitalWrite(stp,LOW);    delay(10);
            }
            i = 2000;
            digitalWrite(enable,HIGH);
        }
    }
}
```

Rys. 17. - Funkcja kalibracji – *calib()*.

Jak można zauważyć na ilustracji powyżej kalibracja rozpoczyna się od włączenia cewek, czyli ustawienia pinu odpowiadającego za nie na stan niski. Następnie ustawiany jest kierunek obrotu silnika. W przypadku tego urządzenia stan niski oznacza obrót w lewo, a wysoki w prawo. Następnie zainicjowana zostaje pętla w której odbywać się będzie dalszy fragment kodu. Ograniczenie pętli zostało ustawione na bardzo wysokie, tak aby nigdy nie osiągnęło tej wartości.

W pętli odbywa się fragment odpowiedzialny za sprawdzanie, czy moduł wyłącznika krańcowego nie przeszedł w stan niski. Jeśli pozostaje w stanie wysokim mechanizm porusza się w przeciwnym kierunku do wymazu. Kiedy napotkany zostaje wyłącznik krańcowy, a jego sygnał przejdzie w stan niski, mechanizm ruszy w drugim kierunku o pewną liczbę kroków silnika mieszczącą się w stałej *calib_length*. Wartość tej stałej została przypisana do niej na początku programu i wynosi 15. Następnie zmiennej 'i' zostaje przypisana wartość 2000, co przerwie działanie pętli zaraz po kolejnej linijce, która wyłącza cewki silnika.

```
void work() {  
  
    digitalWrite(enable, LOW);  
    digitalWrite(dir, HIGH);  
    for(int i=0; i<work_length; i++) {  
  
        digitalWrite(stp, HIGH); delay(10);  
        digitalWrite(stp, LOW); delay(10);  
    }  
}
```

Rys. 18. - Fragment kodu źródłowego funkcji *work()* - odpowiadającej za proces rozmazu.

Na powyższej ilustracji zamieszczony został fragment kodu funkcji pracy urządzenia. Na samym początku uruchamiany zostaje silnik krokowy oraz ustawiany jest jego kierunek obrotu. Następnie, za pomocą pętli, dostarczany zostaje sygnał do silnika, aby ten poruszył co 10 mikrosekund o krok. Proces ten zostaje powtórzony wybraną ilość razy. Wielkość ta mieści się w zmiennej *work_length*. Na samym początku programu została jej przypisana wartość wynosząca 140.

```
// rozprowadzanie krwi po szkiełku  
for(int j=0; j<2; j++){  
  
    digitalWrite(dir, LOW);  
    digitalWrite(stp, HIGH); delay(1);  
    digitalWrite(stp, LOW); delay(1000);  
  
    digitalWrite(dir, HIGH);  
    digitalWrite(stp, HIGH); delay(1);  
    digitalWrite(stp, LOW); delay(1000);  
}
```

Rys. 19. - Fragment kodu funkcji *work()* wykonujący proces rozprowadzania krwi po szkiełku.

Kod znajdujący się powyżej ma za zadanie imitować ruch drgający ludzkiej ręki, dzięki któremu kropla krwi mieszcząca się na szkiełku statycznym jest w stanie rozprowadzić się po całej długości krótszej krawędzi szkiełka aktywnego. Tak więc kod ten zapewnia drgnięcie co jedną sekundę w przód i w tył poruszania się mechanizmu.

Ostatnim już fragmentem kodu funkcji *work()* jest ten, który odpowiedzialny jest za płynny ruch powrotu szkiełka do pozycji startowej. To właśnie przy tym ruchu krew rozmazywana jest po szkiełku.

```
// powrot
digitalWrite(dir,LOW);
for(int i=0; i<work_length; i++){
    digitalWrite(stp,HIGH); delay(1);
    digitalWrite(stp,LOW);  delay(1);
}

digitalWrite(enable,HIGH);
```

Rys. 20. - Fragment kodu odpowiadającego za rozmaz i powrót szkiełka aktywnego do pozycji startowej.

Jak można zauważyć, kod powyżej zmienia kierunek obrotu silnika na przeciwny. Następnie uruchomiona zostaje pętla, która płynnym ruchem przemieszcza mechanizm z powrotem do pozycji startowej. Na końcu silnik zostaje odłączony od zasilania.

Rozdział 6

Testy urządzenia

Weryfikacja poprawnego działania urządzenia odbyła się poprzez serię testów. W tej części projektu opisane zostały: sposób i przebieg przeprowadzania testów, oczekiwane wyniki oraz wyniki testów.

6.1 Sposób prowadzonych testów

Założeniem testowania jest sprawdzenie, czy urządzenie działa poprawnie. Należy jednak określić sposób przeprowadzania testu. W tym projekcie postanowiono, aby urządzenie za każdym testem przeszło cały cykl swojej pracy. Testy przeprowadzane były używając atramentu zamiast krwi, tak aby zachować zasady sterylności.

Zawartość jednego naboju atramentu posiada masę ok. 0,4 – 0,5 g. Natomiast objętość atramentu w naboju wynosi około 0,5 cm³. Oznacza to, że gęstość atramentu wynosi ok. 0,8 – 1,0 g/cm³. Gęstość krwi wynosi 1,053 – 1,057 g/cm³.

6.2 Oczekiwane wyniki

Od wyników przeprowadzonych testów oczekuje się:

- Poprawnego działania urządzenia,
- brak błędów urządzenia,
- wyniku rozmazu na którym widoczny jest „język”, który jest charakterystyczny dla poprawnie przeprowadzonych rozmazów wykonanych w laboratorium.

6.3 Przebieg testów

Każdy z testów przebiegał w następujący sposób:

Na początku urządzenie zostało uruchomione, aby rozpocząć testy. Przed każdą próbą szkiełka były oczyszczane w alkoholu (benzynie lakowej), następnie przemywane w wodzie destylowanej. Ten proces został przeprowadzony zgodnie z wytycznymi zebranymi na wywiadzie w laboratorium medycznym. Następnym krokiem było umieszczenie szkiełek laboratoryjnych w odpowiednich dla nich miejscach. Głowica urządzenia przesuwana była zgodnie z instrukcją (str. 5) tak, aby dolny koniec szkła rozmazującego znalazł się w połowie szkiełka podstawowego. Aktywowano przyciskiem proces kalibracji. Nakładano kroplę atramentu. Aktywowano za pomocą przycisku proces pracy urządzenia. Następnie robiono zdjęcie, aby porównać je do wyniku referencyjnego.

6.4 Wyniki testów

Testy urządzenia i jego działania przeprowadzono 3 razy, wyniki przedstawiono na zdjęciach poniżej:



Rys. 21. - Wynik testu nr 1.



Rys. 22. - Wynik testu nr 2.



Rys. 23. - Wynik testu nr 3.

Urządzenie z każdym testem uzyskało bardzo podobne wyniki. Nie wykryto żadnych błędów w działaniu urządzenia. Każdy z rozmazów testowych podobny jest do oczekiwanego wyniku. Jak można zauważyć powyżej urządzenie ma jednak swoją wadę, dolna część rozmazu jest „ścięta” może oznaczać to, że szkiełko rozmazujące jest niepoprawnie ustawione. Problem najprawdopodobniej spowodowany jest zbyt małą sztywnością elementu trzymającego szkiełko laboratoryjne. Drugim problemem urządzenia są przerwy między miejscem gdzie znajdowała się krew na początku, a rozmazem. Może wynikać to ze zbyt mocnego nacisku w tym miejscu szkiełka aktywnego na statyczne.

Rozdział 7

Podsumowanie i wnioski

7.1 Uzyskane wyniki w świetle postawionych celów i zdefiniowanych wymagań

Analizując wyniki testów oraz obserwacje działania urządzenia zdefiniowane wymagania w rozdziale nr 3 zostały spełnione. Oto cele pośrednie, które udało się osiągnąć:

- Rama urządzenia została zbudowana,
- Napęd urządzenia został zaprojektowany i złożony,
- Łożyskowy układ mechaniczny został zaprojektowany i złożony,
- Urządzenie zostało poprawnie zaprogramowane,
- Urządzenie jest proste w obsłudze,
- Wymiana elementów niestałych urządzenia nie jest problematyczna,
- Zachowanie sterylności urządzenia nie wymaga skomplikowanych czynności.

7.2 Rozbudowa funkcjonalna

Urządzenie można rozbudować, bądź inaczej zaprojektować niektóre z elementów.

Rzeczą którą jako pierwszą można poprawić jest zwiększenie sztywności chwytaka szkiełka rozmazującego. Budowa tego elementu i jego współpraca ze wszystkimi układami przynosi akceptowalne wyniki, natomiast można go poprawić. Jednym z lepszych rozwiązań byłoby usztywnienie tego elementu. Efekt taki można uzyskać projektując ten element ze specjalnymi podpórkami.

Drugą zmianą jaką można wprowadzić w ten projekt, jest zaprojektowanie łatwiejszej wymiany elementu trzymającego szkiełko statyczne. Ten element wkręcony jest na śruby. Dla większej wygody korzystania z urządzenia można by ten element ulepszyć wymieniając śruby na specjalne dociski, tak aby jego wymiana nie wymagała narzędzi.

Trzecią zmianą mogłaby być wymiana elementów takich jak spinacze biurowe na inne chwytaki.

Urządzenie można rozbudować o dodatkowy moduł, tak aby możliwe było jednoczesne przeprowadzanie dwóch rozmazów. Możliwe jest także stworzenie systemu, który zajmowałby się łatwiejszym ustawianiem nacisku szkiełka rozmazującego na podstawowe. Dawałoby to bardziej wiarygodne wyniki rozmazu.

7.3 Problemy napotkane w trakcie pracy

Największym problemem tego urządzenia jest odpowiednie dostosowanie nacisku szkiełka aktywnego na statyczne. W tym momencie za odpowiedni nacisk odpowiedzialna jest odległość wszystkich elementów względem siebie. Podzespoły urządzenia zamontowane na ramie są tak, aby docisk między szkiełkami był minimalny. Niestety, jeśli elementy urządzenia poluzują się, lub w inny sposób zmieniają swoje położenie wyniki nie będą akceptowalne.

Kolejnym problemem jest nadmierne naciąganie się paska zębatego. Niestety element ten trzeba wymieniać co jakiś czas w urządzeniu, ponieważ naciągnięcie paska powoduje jego wydłużenie, a to skutkuje niepoprawną pracą układu napędowego urządzenia.

Bibliografia

- [1] https://www.youtube.com/watch?v=OzkbaZ7WpU4&ab_channel=KoValskymajstruje
(dostęp: 05.01.2024)
- [2] https://pl.wikipedia.org/wiki/Prawid%C5%82owy_sk%C5%82ad_krwi_cz%C5%82o_wieka (dostęp: 05.01.2024)
- [3] https://sklep.alablaboratoria.pl/badanie/7935/morfologia_krwi_c55
(dostęp: 05.01.2024)
- [4] Wywiad przeprowadzony w laboratorium Śląskiego Centrum Chorób Serca przez autora projektu
- [5] <https://abc-rc.pl/> (dostęp: 05.01.2024)
- [6] https://www.mp.pl/pacjent/badania_zabiegi/99884,morfologia-krwi
(dostęp: 05.01.2024)
- [7] <https://medlineplus.gov/lab-tests/blood-smear/> (dostęp: 05.01.2024)
- [8] https://www.jacksonimmuno.com/technical/products/applications/flow-cytometry?utm_term=flow%20cytometry%20analysis&utm_campaign=Products+%5BSearch,+Europe+-+Incl+UK%5D&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=9495885278&hsa_cam=1317422778&hsa_grp=57074230441&hsa_ad=582403279417&hsa_src=g&hsa_tgt=kwd-364338468&hsa_kw=flow%20cytometry%20analysis&hsa_mt=b&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gad_source=1&gclid=CjwKCAiA7t6sBhAiEiwAsaieYvBok81M78afReJrIA_agvTB4fgVjW2G9fP8dBPjxK9hND1abvsj5hoC1-QQAvD_BwE
(dostęp: 05.01.2024)

Spis skrótów i symboli

<i>RBC</i>	odnosi się do liczby czerwonych krwinek (ang. <i>red-blood-cells</i>)
<i>WBC</i>	odnosi się do liczby białych krwinek (ang. <i>white-blood-cells</i>)
<i>PLT</i>	odnosi się do liczby płytek krwi (ang. <i>platelets</i>)
<i>MCV</i>	średnia objętość krwinki czerwonej (ang. <i>mean-corpuscular-volume</i>)
<i>MCH</i>	średnia masa hemoglobiny w krwince (ang. <i>mean-corpuscular-hemoglobin</i>)
<i>MCHC</i>	średnie stężenie hemoglobiny w krwince czerwonej (ang. <i>mean-corpuscular-hemoglobin-concentration</i>)
<i>HGB</i>	stężenie hemoglobiny (ang. <i>hemoglobin</i>)
<i>HCT</i>	procentowa objętość krwinek czerwonych w całkowitej objętości krwi (ang. <i>hematocrit</i>)
<i>CNC</i>	systemy sterowania maszynami (ang. <i>computer-numerical-control</i>)
<i>V</i>	jednostka napięcia elektrycznego wolt (ang. <i>volt</i>)
<i>g</i>	jednostka masy
<i>cm³</i>	jednostka objętości (mililitr)

Źródła

<pre>int but_val = 0; const int work_length = 140; const int calib_length = 15; #define button 2 #define dir 3 #define stp 4 #define limit 8 #define enable 12 void setup() { Serial.begin(9600); pinMode(stp,OUTPUT); pinMode(dir,OUTPUT); pinMode(button,INPUT_PULLUP); pinMode(enable,OUTPUT); digitalWrite(enable,HIGH); } void loop() { if(digitalRead(button) == LOW) { but_val += 1; } if(but_val == 1){ calib(); but_val += 1; } if(but_val == 3){ work(); delay(500); but_val = 0; } }</pre>	<pre>void calib(){ digitalWrite(enable,LOW); digitalWrite(dir,LOW); for(int i=0; i<2000; i++){ if(digitalRead(limit) == HIGH){ digitalWrite(stp,HIGH); delay(5); digitalWrite(stp,LOW); delay(5); } else{ digitalWrite(dir,HIGH); for(int j=0; j<calib_length; j++){ digitalWrite(stp,HIGH); delay(10); digitalWrite(stp,LOW); delay(10); } i = 2000; digitalWrite(enable,HIGH); } } } void work(){ digitalWrite(enable,LOW); digitalWrite(dir,HIGH); for(int i=0; i<work_length; i++) { digitalWrite(stp,HIGH); delay(10); digitalWrite(stp,LOW); delay(10); } for(int j=0;j<2;j++){ digitalWrite(dir,LOW); digitalWrite(stp,HIGH); delay(1); digitalWrite(stp,LOW); delay(1000); digitalWrite(dir,HIGH); digitalWrite(stp,HIGH); delay(1); digitalWrite(stp,LOW); delay(1000); } digitalWrite(dir,LOW); for(int i=0; i<work_length; i++){ digitalWrite(stp,HIGH); delay(1); digitalWrite(stp,LOW); delay(1); } digitalWrite(enable,HIGH); }</pre>
---	---

Spis rysunków

Nr.	Podpis	Str.
1	Rozmaz krwi człowieka. Preparat niebarwiony.	3
2	Zmontowany model urządzenia wspomagającego proces rozmazu krwi.	8
3	Model elementu służącego do mocowanie szkiełka aktywnego.	9
4	Model elementu służącego do mocowania szkiełka statycznego.	9
5	Model elementu służącego do łączenia łożysk liniowych.	9
6	Schemat podłączenia wszystkich elektronicznych podzespołów urządzenia.	10
7	Zdjęcie silnika krokowego Nema17.	11
8	Zdjęcie sterownika A4988 z radiatorem.	11
9	Zdjęcie modułu wyłącznika krańcowego WK320.	11
10	Zdjęcie zestawu przycisków unipolarnych.	12
11	Zdjęcie zasilacza 12V oraz podłączonej do niego szybkozłączki.	12
12	Schemat podłączenia silnika krokowego oraz jego sterownika do mikroprocesora.	13
13	Ilustracja przedstawiająca wejścia sterownika A4988.	13
14	Fragment kodu przedstawiający definiowanie pinów na płytce procesora.	15
15	Fragment kodu przedstawiający funkcję <i>setup()</i> .	16
16	Funkcja główna kodu, odpowiedzialna za działanie całego programu.	17
17	Funkcja kalibracji – <i>calib()</i> .	18
18	Fragment kodu źródłowego funkcji <i>work()</i> - odpowiadającej za proces rozmazu.	19
19	Fragment kodu funkcji <i>work()</i> wykonujący proces rozprowadzania krwi po szkiełku.	19
20	Fragment kodu odpowiadającego za rozmaz i powrót szkiełka aktywnego do pozycji startowej.	20
21	Wynik testu nr 1.	22
22	Wynik testu nr 2.	22
23	Wynik testu nr 3.	23