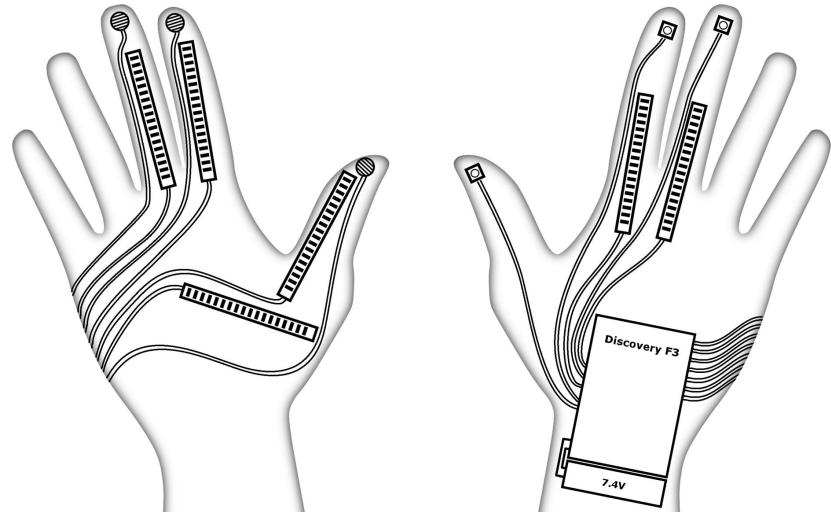


Dokumentacja techniczna projektu Rękawica Sensoryczna

Projekt realizowany w ramach kursu Roboty Mobilne 1 na Politechnice
Wrocławskiej



Temat Projektu: Rękawica sensoryczna

Autorzy: Krzysztof Dąbek 218549, Dymitr Choroszczak 218627,
Anna Postawka 218556

Kierunek: Automatyka i Robotyka

Specjalność: Robotyka (ARR)

Prowadzący: dr inż. Andrzej Wołczowski

Kurs: Roboty Mobilne 1

Termin zajęć: pn TN 11:15, śr TN 14:30

Spis treści

1	Główne założenia projektowe:	2
2	Opis czujników	2
2.1	Parametry	2
2.1.1	Dane czujnika nacisku	2
2.1.2	Dane czujnika ugięcia	2
2.1.3	Dane z akcelerometru	3
2.2	Odczyt danych z czujników	3
2.2.1	Czujniki nacisku	3
2.2.2	Czujniki ugięcia	3
2.2.3	Akcelerometr	3
3	Elementy składowe projektu	4
3.1	Hardware	4
3.1.1	Płytką sterującą	5
3.1.2	Czujniki	6
3.1.3	Komunikacja	6
3.1.4	Przewody	6
3.1.5	Interfejs Użytkownika	6
3.2	Software	6
3.2.1	Przetworznik Pomiarowy	6
3.2.2	Przesyłanie danych	7
3.2.3	Struktury danych	8
3.2.4	Przetwarzanie danych	8
3.3	Wizualizacja	10
3.3.1	Interfejs graficzny	10
3.3.2	Funkcjonalności aplikacji	10
4	Badania z wykorzystaniem rękawicy	11
4.1	Dane pomiarowe	11
4.2	Przykładowe gesty i metoda ich identyfikacji	12
5	Podsumowanie	13
5.1	Problemy podczas konstrukcji	13
5.2	Zmiany w założeniach projektowych	14
5.3	Pomysły na rozwinięcie projektu	15

1 Główne założenia projektowe:

- Stworzenie rękawicy z czujnikami ugięcia w trzech palcach oraz czujnikami nacisku na opuszkach
- Zamontowanie na opuszkach LEDów (np. RGB) wizualizujących odczyty z czujników nacisku
- Wykorzystanie płytki STM32F3Discovery do przetwarzania danych
- Użycie akcelerometru zawartego na płytce do określenia położenia dloni względem pionu (wektora przyśpieszenia grawitacyjnego)
- Bezprzewodowe przesyłanie danych do komputera za pomocą modułu Bluetooth HC-06
- Przewodowe przesyłanie danych do komputera za pomocą interfejsu USB
- Zewnętrzne zasilanie z akumulatora
- Uproszczony model dloni w wizualizacji 3D

2 Opis czujników

- Na opuszkach palców zamontowano **czujniki nacisku FSR-400 Short od Interlink Electronics**. Spadek rezystancji przy przyłożonej sile pozwala zmierzyć siłę nacisku.
- Do wykrycia zgięcia stawów międzypaliczkowych i śródramienne-paliczkowych oraz stawów kciuka zastosowano **czujniki ugięcia – Flex Sensory 2.2" firmy Spectra Symbol**. Zgięcie tych sensorów powoduje wzrost rezystancji.
- **Akcelerometr LSM303DLHC**, znajdujący się na płytce Discovery został użyty do określenia orientacji rękawicy względem wektora grawitacji.

2.1 Parametry

Patrz: Tabela 1, Tabela 2, Tabela 3.

2.1.1 Dane czujnika nacisku

- Średnica powierzchni czynnej: 5 mm
- Zakres pomiarowy nacisku: 0.2 - 20 N
- Zakres rezystancji: 150 Ohm - 10 MOhm
- Rezystor pomiarowy do dzielnika: 3 kOhm

2.1.2 Dane czujnika ugięcia

- Długość powierzchni czynnej: 55.37 mm
- Zakres rezystancji: 25 kOhm - 125 kOhm
- Rezystor pomiarowy do dzielnika: 62 kOhm

2.1.3 Dane z akcelerometru

- Protokół komunikacyjny: I^2C
- Ilość osi: 3
- Maksymalne przeciążenie: 16g
- Dokładność pomiaru: 16 bitów

2.2 Odczyt danych z czujników

2.2.1 Czujniki nacisku

Dane z czujników są odczytywane za pomocą przetwornika ADC oraz przy użyciu DMA (Direct Memory Access), co pozwala na bezpośrednie przekierowanie danych z czujników do odpowiednich zmiennych, bez wywoływania dodatkowej funkcji zwracającej wynik pomiaru.

2.2.2 Czujniki ugięcia

Obsługa taka sama jak w: Czujniki nacisku.

2.2.3 Akcelerometr

Z akcelerometrem komunikacja następuje po interfejsie I^2C .

Zakres	0,2–20 N
Masa	0,15 g
Wymiary zewnętrzne	7,6 x 7,6 x 0,4 mm

Tablica 1: Czujnik siły nacisku FSR-400

Min. wartość rezystancji	25 kΩ
Zakres rezystancji podczas zginania	45–125 kΩ
Dł. całkowita	73,66 mm
Dł. użytkowa czujnika	55,37 mm
Szerokość	6,35 mm

Tablica 2: Czujnik ugięcia Flex Sensor 2.2"

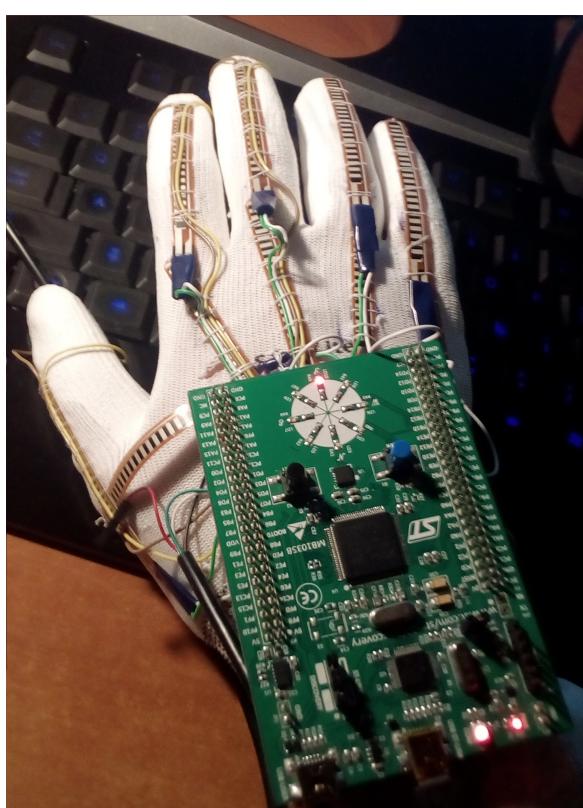
Napięcie pracy	2,2–3,6 V
Interfejs komunikacyjny	I^2C
Rozdzielcość	16 bitów
Regulowany zakres akcelerometru	$\pm 2g, \pm 4g, \pm 8g, \pm 16g$
Zakres magnetometru	od $\pm 1,3$ do $\pm 8,1$ gauss

Tablica 3: LSM303DLHC – 3-osiowy akcelerometr i magnetometr I2C

3 Elementy składowe projektu

3.1 Hardware

Rękawica sensoryczna zbiera dane z prawej dłoni. Czujniki ugięcia przyszyto na zewnętrznej stronie dłoni [rys. 3a]. Przetestowano kilka ustawień czujników i takie zdaje się najlepiej spełniać założenia, czyli poprawnie odczytywać zgięcia konkretnych stawów palców, nie ograniczając przy tym ruchów dłoni. Czujniki nacisku przymocowano na opuszkach [rys. 3b]. Zostały one przyklejone klejem błyskawicznym. Przymocowano również na wierzchu dłoni 2 listwy żeńskie do wpięcia płytka Discovery F3, aby móc pobierać dane z akcelerometru i wykrywać obrót ręki [rys. 3a].



(a) Zewnętrzna część dłoni



(b) Wewnętrzna część dłoni

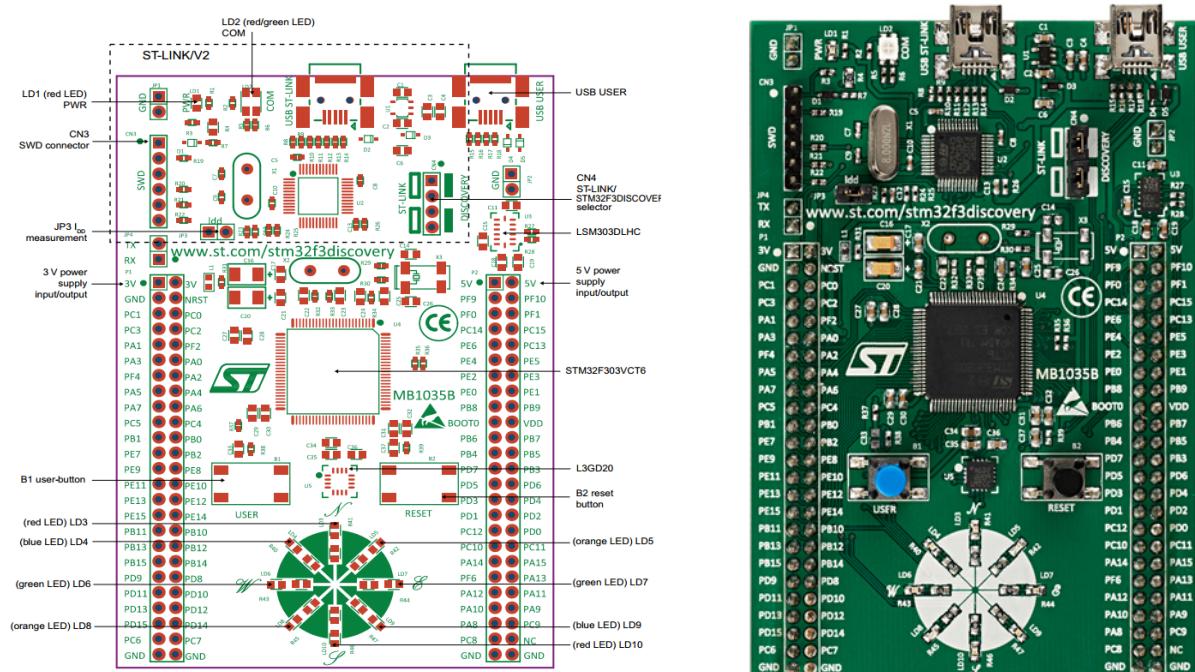
Rysunek 1: Gotowa rękawica



Rysunek 2: Zdjęcie rękawicy w fazie montażu (aktualny rozkład czujników jest zmieniony)

3.1.1 Płytkę sterującą

Do sterowania pomiarami i połączeniem z komputerem wykorzystano płytę STM32DiscoveryF3. Na płytce znajduje się mikrokontroler STM32F303VCT6, którego piny wyprowadzone są na podwójne listwy goldpin. Dokumentację oraz schemat połączeń płytki można znaleźć na stronie producenta. Wygląd płytki oraz rozmieszczenie elementów ukazano na rysunku [rys. ??]. Płytkę została umieszczona na rękawicy na przyszytych żeńskich listwach goldpin, co umożliwia używanie jej jako modułu i odłączenie od urządzenia.



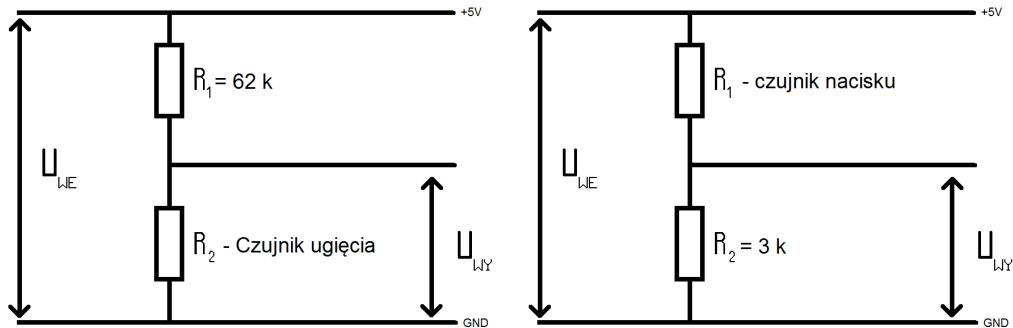
(a) Rozmieszczenie elementów

(b) Wygląd płytka

Rysunek 3: Główna płytka sterująca

3.1.2 Czujniki

Opis czujników został przedstawiony w rozdziale *Opis czujników*. Aby umożliwić pomiar stworzono dzielniciki napięciowe dla czujników, których schemat został przedstawiony na rysunku [rys.4].



Rysunek 4: Schematy dzielniców napięciowych do pomiarów

3.1.3 Komunikacja

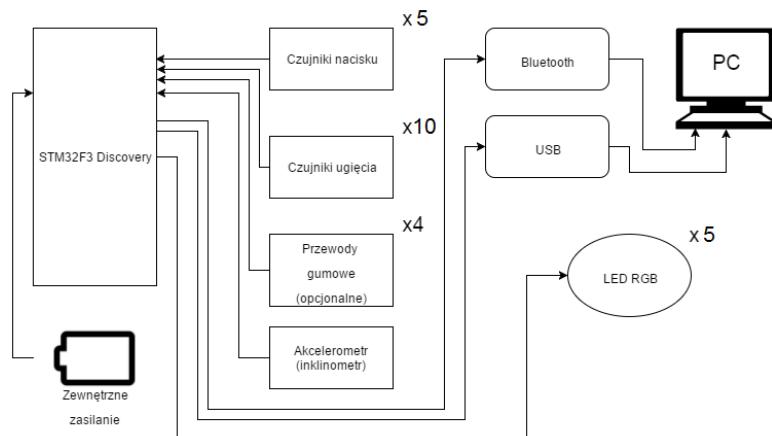
Zapewniono wysyłanie pomiarów i komunikację z komputerem przez 3 media:

- USB – wirtualizacja portu szeregowego z wykorzystaniem middleware USB CDC
- UART – konwerter USB→UART firmy Prolific (115200 b/s)
- BLUETOOTH – moduł HC – 06 (zrezygnowano z tego rozwiązania z uwagi na małą maksymalną prędkość przesyłania (9600 b/s))

Komputer odbiera dane za pomocą portu szeregowego.

3.1.4 Przewody

Do realizacji połączeń elektrycznych wykorzystano cienkie przewody wielożyłowe. Ideowy schemat połączeń został przedstawiony na rysunku [rys. 5].



Rysunek 5: Ideowy schemat połączeń na płytce

3.1.5 Interfejs Użytkownika

- Do zmiany metody przesyłania danych wykorzystano przycisk umieszczony na płytce Discovery (niebieski).
- Aktualna metoda przesyłania danych ukazana jest za pomocą trzech LEDów umieszczonych na płytce Discovery.
- Zrezygnowano z wizualizacji nacisku za pomocą diod RGB.

3.2 Software

3.2.1 Przetwornik Pomiarowy

- Rozdzielcość przetwornika: 12 bitów
- Zakres pomiarowy: (0 – 4095: int), (0 – 3,3 V)
- Pomiar ciągły z wykorzystaniem DMA
- Czas próbkowania: 181,5 Cykli
- Częstotliwość zegara: 32 MHz

3.2.2 Przesyłanie danych

- Typ danych: float
- Sposób odbierania danych: COM Port
- Sposób kodowania wiadomości: ANSI
- Suma kontrolna: brak
- Struktura wiadomości: 1 linia danych
 - Znak początku 'S'
 - 15x float – kąty obrotu przegubów palców ($\pm 180, 0^\circ$)
 - 5x int – dane z czujników nacisku (0 – 255)
 - 3x float – kąty obrotu parametryzacji Roll Pitch Yaw ($\pm 180, 0^\circ$)
 - 3x float – przyśpieszenie w trzech osiach XYZ ($\pm 18 \frac{m}{s^2}$)
 - 10x float – odczyty czujników ugięcia (0,0 – 3,3 V)
 - Znak końca 'R'
 - Linia zakończona znakami \r \n
- Zrezygnowano ze szczegółowego opisu niskopoziomowego ramki danych, gdyż jest on obsługiwany przez dostępne biblioteki

Bluetooth (UART)

- Baud Rate: 9600 b/s (115200 b/s)
- Długość słowa: 8 bit

- Parzystość: brak
- Bity stopu: 1
- Nadpróbkowanie: 16 próbek
- Wykorzystanie przerwań

USB

- Szybkość: 12 Mb/s
- Maksymalna wielkość pakietu: 64 B

3.2.3 Struktury danych

Dane z czujników są przechowywane w następujących strukturach:

```

1 #define FINGER_JOINT_COUNT 3
2 #define FINGER_COUNT 5
3
4 #define FLEX_SENSOR_COUNT 10
5 #define TENSION_SENSOR_COUNT 5
6 #define ACCELEROMETER_AXIS_COUNT 3
7 #define SENSOR_COUNT (FLEX_SENSOR_COUNT+TENSION_SENSOR_COUNT+
     ACCELEROMETER_AXIS_COUNT)
8
9
10 typedef struct s_measurements
11 {
12     uint16_t FlexSensor [FLEX_SENSOR_COUNT] ;
13     uint16_t TensionSensor [TENSION_SENSOR_COUNT] ;
14     int16_t Accelerometer [ACCELEROMETER_AXIS_COUNT] ;
15 } s_measurements;
16
17 typedef struct s_AggregatedMeasurements
18 {
19     float FlexSensor [FLEX_SENSOR_COUNT] ;
20     uint8_t TensionSensor [TENSION_SENSOR_COUNT] ;
21     float Accelerometer [ACCELEROMETER_AXIS_COUNT] ;
22 } s_AggregatedMeasurements;
23
24 typedef struct s_JointAngles
25 {
26     float Joint [FINGER_JOINT_COUNT] ;
27 } s_JointAngles;

```

3.2.4 Przetwarzanie danych

Projekt umożliwia podglądarkanie następujących parametrów w programie STMStudio:

Dane z czujników nacisku:

- Wyrażone w woltach
- Zobrazowane za pomocą przestrzeni kolorów HSV

Dane z czujników ugięcia:

- Wyrażone w woltach
- Interpolowane liniowo na kąty w przegubach

Dane z akcelerometru:

- Wyrażone w m/s^2

Powyższe wartości są filtrowane na bieżąco przez filtr dolnoprzepustowy ze zmiennym parametrem β (zależnie od metody wysyłania).

$$y[n] - \beta y[n - 1] = (1 - \beta)x[n] \quad (1)$$

Nastawy przegubów są interpolowane funkcją liniową na podstawie pomiarów w skrajnych przypadkach maksymalnego i minimalnego zgięcia. Pomiary obarczone są dużym błędem ze względu na niestabilność konstrukcji (przesuwanie się czujników) oraz trudność w dobraniu metody pomiarowej. Pomiary przedstawiono poniżej.

• Kciuk

Minimalne wartości odczytów czujników: 2500,1850

Maksymalne wartości odczytów czujników: 2130,2500

Minimalne zmierzone wartości kątów w przegubach: 0.0,0.0,0.0

Maksymalne zmierzone wartości kątów w przegubach: 90.0,45.0,70.0

• Palec wskazujący

Minimalne wartości odczytów czujników: 1920,1800

Maksymalne wartości odczytów czujników: 2760,3200

Minimalne zmierzone wartości kątów w przegubach: 0.0,0.0,0.0

Maksymalne zmierzone wartości kątów w przegubach: 85.0,130.0,55.0

• Palec środkowy

Minimalne wartości odczytów czujników: 1920,1650

Maksymalne wartości odczytów czujników: 2650,2880

Minimalne zmierzone wartości kątów w przegubach: 0.0,0.0,0.0

Maksymalne zmierzone wartości kątów w przegubach: 90.0,120.0,70.0

• Palec serdeczny

Minimalne wartości odczytów czujników: 1750,1560

Maksymalne wartości odczytów czujników: 2300,2300

Minimalne zmierzone wartości kątów w przegubach: 0.0,0.0,0.0

Maksymalne zmierzone wartości kątów w przegubach: 80.0,100.0,85.0

• Palec mały

Minimalne wartości odczytów czujników: 1520,1440

Maksymalne wartości odczytów czujników: 2580,2930

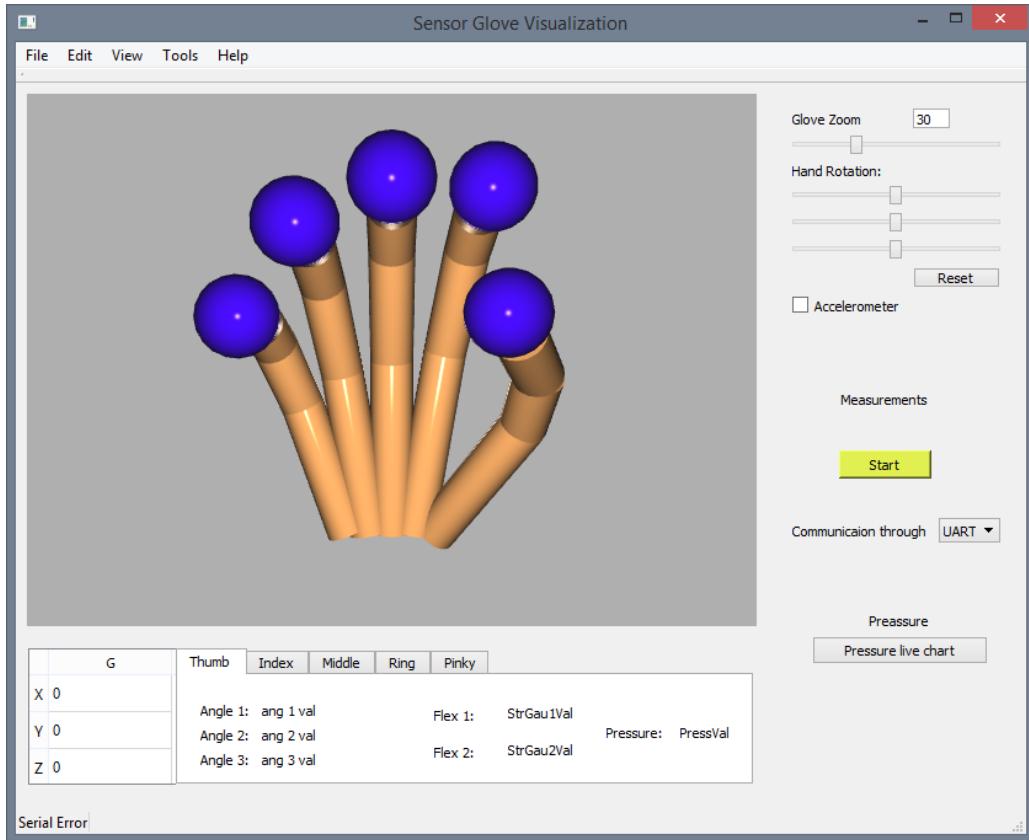
Minimalne zmierzone wartości kątów w przegubach: 0.0,0.0,0.0

Maksymalne zmierzone wartości kątów w przegubach: 90.0,90.0,90.0

3.3 Wizualizacja

3.3.1 Interfejs graficzny

Aplikacja pozwala na wizualizację modelu ręki na podstawie odczytów z czujników. Powstała we frameworku Qt. Aktualny interfejs graficzny wyświetla uproszczony model dłoni [rys. 6].

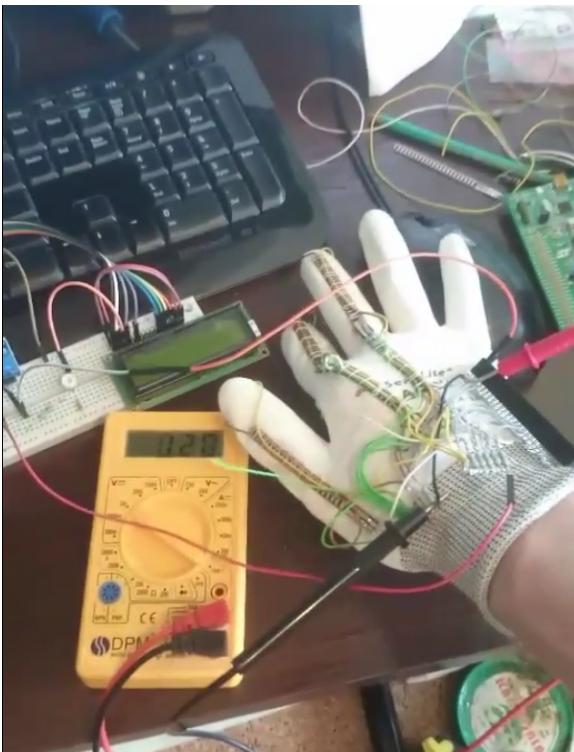


Rysunek 6: Aktualny interfejs graficzny

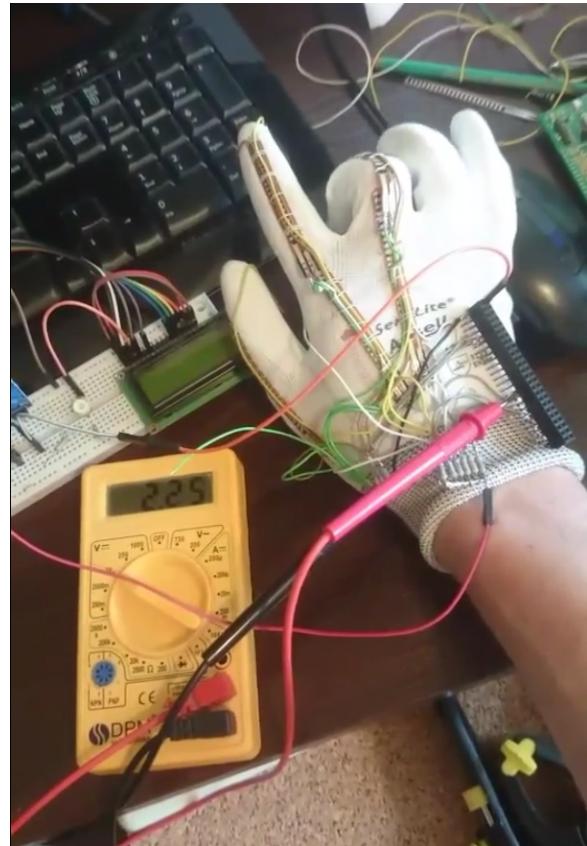
3.3.2 Funkcjonalności aplikacji

Została stworzona aplikacja okienkowa do wizualizacji napisana w języku C++ z użyciem biblioteki Qt.

- Wizualizacja poruszania modelem dłoni na podstawie odczytów z czujników i akcelerometru.
- Wybór opcji połączenia z rękawicą sensoryczną (Bluetooth, USB, UART)
- Uruchomienie i zatrzymanie pomiarów, wykonanie pojedynczego pomiaru.
- Skalowanie modelu dłoni poprzez wpisanie rozmiarów oraz suwak.
- Zmiana położenia i orientacji kamery z poziomu interfejsu graficznego.
- Zmiana rotacji modelu dłoni (RPY) poprzez suwaki interfejsu graficznego.
- Wyświetlanie liczbowo wyników pomiarów i możliwość zapisania ich do pliku.
- Wyświetlenie dynamicznego wykresu odczytu nacisku wybranego palca w czasie.



(a) Testowanie czujników nacisku



(b) Testowanie czujników ugięcia

Rysunek 7: Testy

```

9 1.744272 1.346838 1.288648 1.264757 1.283155 1.299742 1.231055 1.118939 1.065854 1.060356 R0j2
881.619481 -19.252480 29.991519 1.264757 1.409831 1.063756 1.40.423851 1.587881 2.099810 -32.358292 -23.196478 -19.728615 -16.779984 -7.506313 -7.500320 231 231 231 231 231 231 231 231 0.000000 -1.317075 -0.052207 2.460228 2.126060 9.24894
881.566685 -19.238380 29.971580 32.454148 -21.376657 -3.057937 -40.409645 3.569306 -2.098171 -32.339463 -23.182133 -19.708277 -16.767653 -7.508025 -7.495072 231 231 231 231 231 231 231 231 0.000000 -1.316868 -0.052469 2.461413 2.125296 9.24521
881.505620 -19.224846 29.946496 -32.439872 -21.388618 -3.052334 -40.371069 3.543606 -2.088516 -32.311428 -23.152145 -19.682648 -16.759211 -7.493141 -7.487619 231 231 231 231 231 231 231 231 0.000000 -1.316968 -0.052774 2.459494 2.124562 9.24163
881.744755 1.347152 1.289168 1.263273 1.283502 1.300965 1.231494 1.119130 1.061131 1.060635 1.060224 -32.293152 -23.134167 -19.665234 -16.747211 -7.488181 -7.482879 231 231 231 231 231 231 231 231 0.000000 -1.316779 -0.052698 2.459183 2.123858 9.24126
881.744914 1.347250 1.289273 1.263637 1.283705 1.300913 1.231585 1.119211 1.062296 1.060743 R0j2
881.318253 1.347250 1.289273 1.263637 1.283705 1.300913 1.231585 1.119211 1.062296 1.060743 R0j3
881.745098 1.347392 1.289374 1.263689 1.283803 1.300920 1.231672 1.119281 1.063387 1.061056 R0j4
881.745243 1.347487 1.289342 1.263519 1.283864 1.300933 1.231789 1.119236 1.063586 1.061107 R0j5
881.318253 1.347487 1.289342 1.263519 1.283864 1.300933 1.231789 1.119236 1.063586 1.061107 R0j6
881.226332 -19.222400 29.861629 -32.450844 -21.392380 -3.027460 -40.347584 3.502579 -2.060994 -32.231647 -23.084000 -19.624228 -16.719027 -7.472042 -7.462615 231 231 231 231 231 231 231 0.000000 -1.316642 -0.052698 2.462562 2.126296 9.24029
881.318253 1.347597 1.289447 1.263647 1.283904 1.300943 1.231895 1.119343 1.063706 1.061176 R0j7
881.318253 1.347597 1.289447 1.263647 1.283904 1.300943 1.231895 1.119343 1.063706 1.061176 R0j8

```

Rysunek 8: Wysyłane dane wyświetcone na terminalu

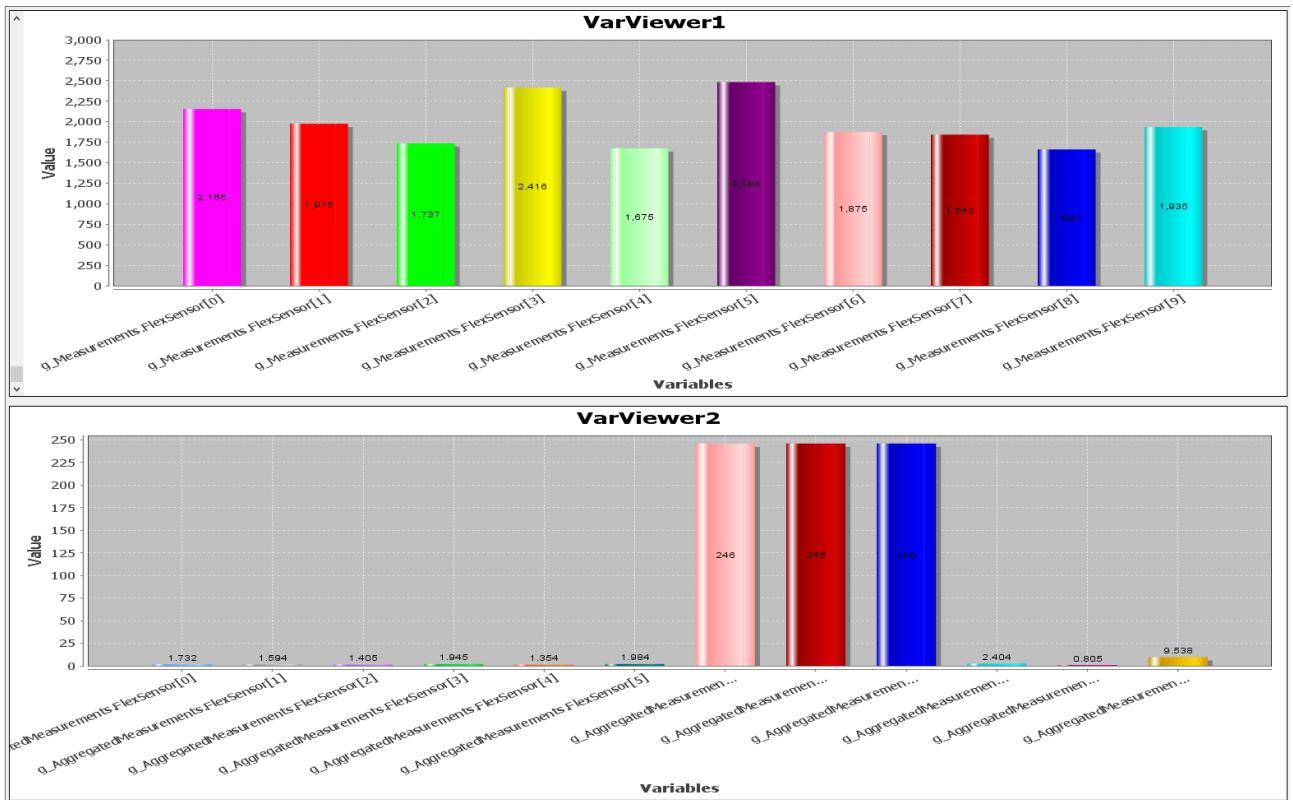
4 Badania z wykorzystaniem rękawicy

Rękawica sensoryczna pozwala na zbieranie pomiarów i próbę jak najdokładniejszego wykrycia konkretnych gestów ludzkiej dłoni na podstawie odczytów z czujników. Takie badania mogą być wykorzystywane m.in. przy rozwoju protez biomedycznych. Takie gesty mogą posłużyć sterowaniu robotem lub systemem automatyki (np. budynkowej). Przyporządkowanie gestu do wykonywanej czynności daje możliwość kontroli systemu.

Wykrywanie gestów sprowadza się do ustawienia odpowiednich progów na niektórych czujnikach ugięcia i nacisku, po których przekroczeniu sygnalizuje się wykrycie gestu.

4.1 Dane pomiarowe

Zbadano poprawność pozyskiwania i wysyłania danych pomiarowych za pomocą terminala (Re-alterm) oraz programu STMStudio. Wyniki przedstawiono na rysunkach (8, 9).



Rysunek 9: Pobierane dane wyświetcone w STMStudio

4.2 Przykładowe gesty i metoda ich identyfikacji

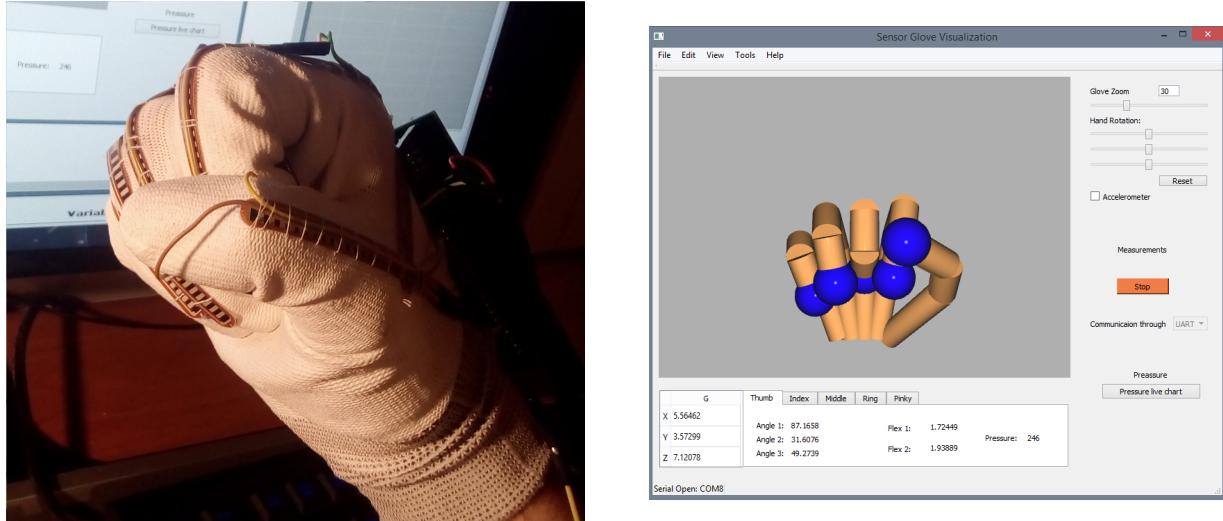
Zaciśnięta pięść Kąty we wszystkich przegubach przekraczają określona wartość. (rys. 10)

Otwarta dłoń Kąty we wszystkich przegubach nie przekraczają określonej wartości. (rys. 11)

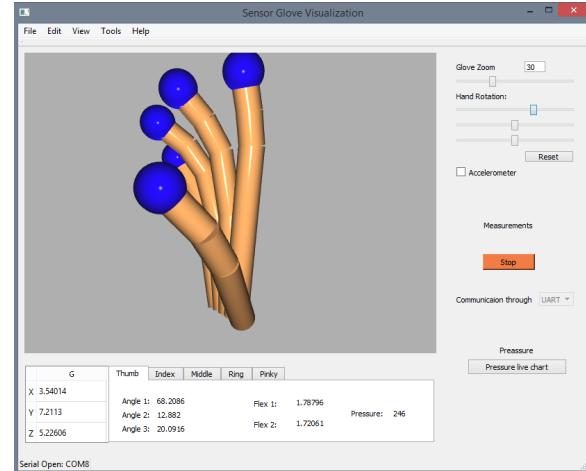
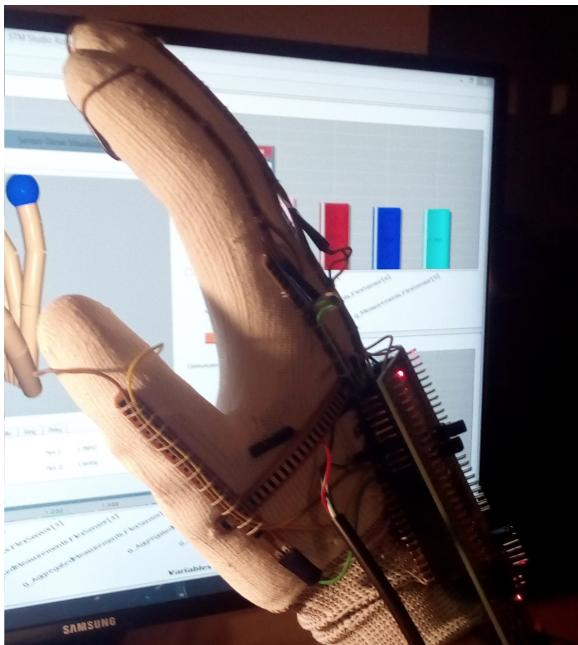
OK Nacisk na palcach przekracza określona wartość. (rys. 12)

Pacyfka Kąty w przegubach kciuka oraz palców wskazującego i środkowego nie przekraczają określonej wartości. Kąty w przegubach palców serdecznego i małego przekraczają określona wartość. (rys. 13)

Wskazywanie palcem Kąty w przegubach kciuka oraz palców środkowego, serdecznego i małego przekraczają określona wartość. Kąty w przegubach palców wskazującego i kciuka nie przekraczają określonej wartości. (rys. 14)



Rysunek 10: Gest – zaciśnięta pięść

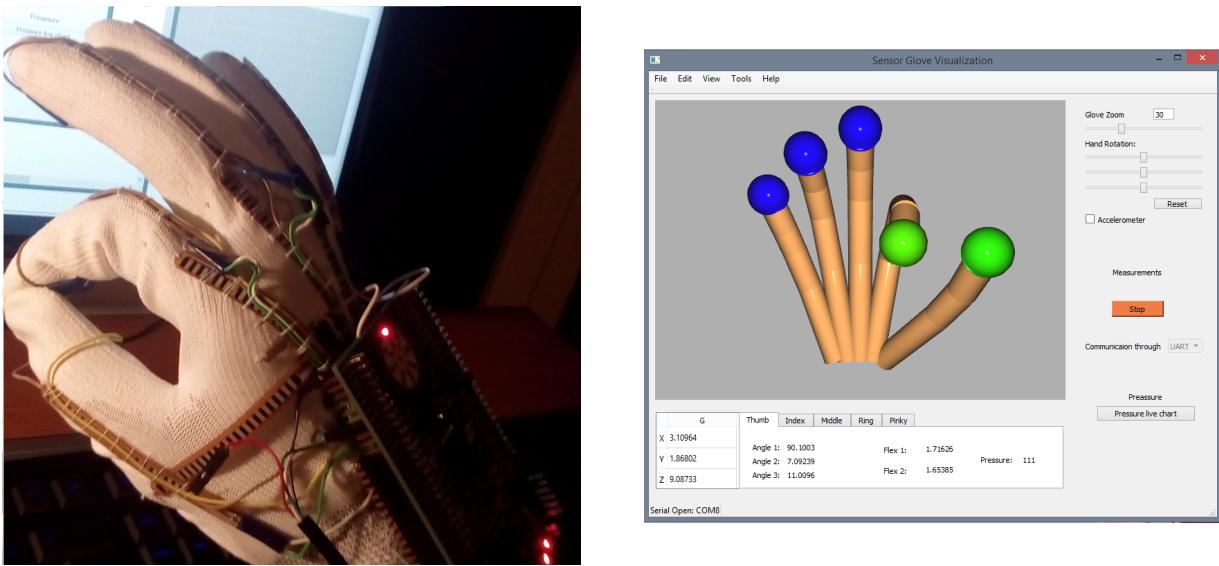


Rysunek 11: Gest – otwarta dłoń

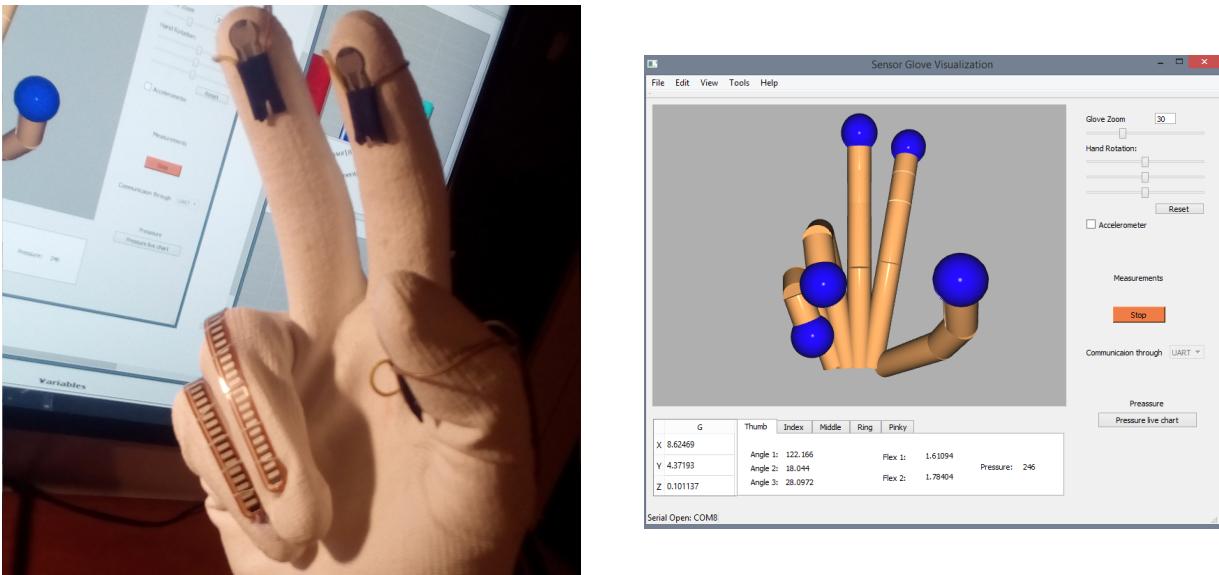
5 Podsumowanie

5.1 Problemy podczas konstrukcji

- Mała powierzchnia czujników nacisku – przy niektórych chwytach człowiek wykorzystuje różne części palców, np. powierzchnię boczną, a czujniki umieszczone są tylko na opuszczakach
- Problem z umieszczeniem czujnika rotacji kciuka – jest to złożony ruch, trudno wychwycić go jednym wąskim czujnikiem
- Różnice w dłoniach konstruktorów – rękawica musi pasować do konkretnej dłoni, żeby czujniki były na odpowiednich miejscach i poprawnie zbierały pomiary
- Mała dokładność czujników, przesuwanie się ich na rękawicy



Rysunek 12: Gest – OK

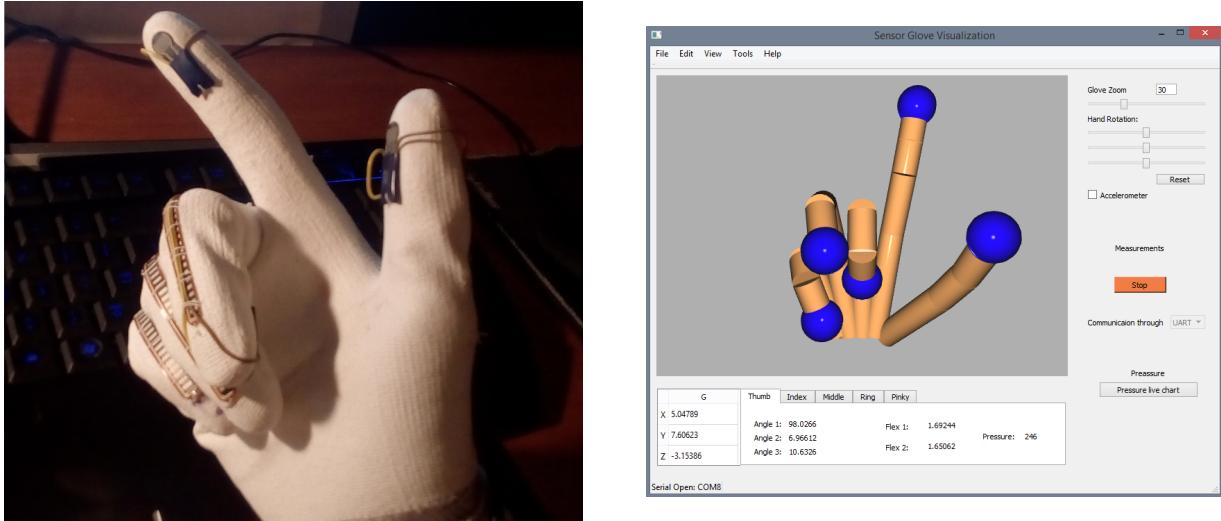


Rysunek 13: Gest – pacyfka

- Niedoskonałość pomiarów kątów zgięcia palców – przy danej konstrukcji i typie czujników nie jest możliwe uzyskanie tak wysokiej dokładności, jak zakładano
- Trudności w uzyskaniu poprawnego działania aproksymacji kątów z akcelerometru
- Kłopoty z interpolacją / aproksymacją – jest to trudne do uzyskania w C
- Komplikacje przy zamówieniu elementów elektronicznych na katedrę – brak kontaktu z laborantem sprawił, że przez pewien czas nie można było uzyskać informacji, czy zamówienie zostało złożone, co poskutkowało opóźnieniem projektu

5.2 Zmiany w założeniach projektowych

- Zamontowanie na opuszczakach LEDów wizualizujących odczyty z czujników nacisku – zabrakło miejsca, bo czujniki trzeba było przesunąć w stosunku do wstępniego schematu, a poza tym każda dioda wymagałaby 4 kabli, co utrudniałoby ruchy dloni



Rysunek 14: Gest – wskazywanie palcem

- Bezprzewodowe przesyłanie danych do komputera za pomocą modułu Bluetooth – zrezygnowano, bo okazało się za wolne (BaudRate 9600 nie wystarcza)

5.3 Pomysły na rozwinięcie projektu

- RPY z wielu akcelerometrów
- Dokładniejsze pomiary i metoda interpolacji
- Wykrywanie większej ilości gestów
- Sterowanie robotem za pomocą gestów
- Dodatkowe czujniki nacisku