

**Politechnika  
Śląska**

## PROJEKT INŻYNIERSKI

„Pomiar i analiza sygnałów fizjologicznych: fali tętna, saturacji krwi oraz czasu reakcji podczas badania osób nieaktywnych fizycznie, kolarzy oraz himalaistów odbywający trening na rowerze stacjonarnym”

Szymon CHMIELEWSKI  
298498

Kierunek: Inżynieria Biomedyczna  
Specjalność: Informatyka I Aparatura Medyczna

PROWADZĄCY PRACE/PROMOTOR  
Dr hab. inż. Paweł Kostka  
Katedra Informatyki Medycznej I Sztucznej Inteligencji  
Wydział Inżynierii Biomedycznej

ZABRZE 2024

Tytuł pracy:

Pomiar i analiza sygnałów fizjologicznych: fali tętna, saturacji krwi oraz czasu reakcji podczas badania osób nieaktywnych fizycznie, kolarzy oraz himalaistów odbywający trening na rowerze stacjonarnym

Streszczenie:

Praca inżynierska skupia się na opracowaniu i implementacji aplikacji mobilnej mającej na celu monitorowanie czasu reakcji, oraz stworzeniu układu zbierającego informacje o saturacji krwi i fali tętna. Badania zostały przeprowadzone na trzech różnych grupach pacjentów: osobach nieaktywnych fizycznie, kolarzach oraz himalaistach.

W ramach projektu, opracowano aplikację mobilną, której głównym zadaniem jest pomiar czasu reakcji użytkownika na określone bodźce. Aplikacja została zoptymalizowana pod kątem precyzji pomiarów, a zebrane dane posłużyły do analizy szybkości reakcji w różnych grupach badawczych.

Dodatkowo, zaimplementowano układ pomiarowy zdolny monitorować saturację krwi oraz falę tętna. Układ ten został zastosowany w badaniach na trzech grupach pacjentów. W grupie osób nieaktywnych fizycznie, analizowano wpływ braku aktywności fizycznej na parametry zdrowotne. W przypadku kolarzy, oceniano adaptacje układu krążenia do intensywnego wysiłku fizycznego, natomiast w grupie himalaistów - wpływ ekstremalnych warunków atmosferycznych na parametry krwi.

Wyniki badań wskazują na istotne różnice pomiędzy grupami, co potwierdza zróżnicowane reakcje organizmu w zależności od poziomu aktywności fizycznej i specyfiki wykonywanej działalności. Wyniki te mogą mieć istotne znaczenie dla dziedziny medycyny sportowej oraz rehabilitacji, sugerując konieczność dostosowania programów zdrowotnych do indywidualnych potrzeb pacjentów o różnym stopniu aktywności fizycznej

Słowa kluczowe:

Czas reakcji, Saturacja krwi, Fala tętna, Układ pomiarowy, Grupy pacjentów, Monitorowanie parametrów zdrowotnych, Adaptacyjne układu krążenia, Wysiłek fizyczny, Ekstremalne warunki atmosferyczne, Medycyna sportowa, Rehabilitacja, Analiza wyników badań, Indywidualne potrzeby pacjentów, Badania interdyscyplinarne

Thesis title:

Measurement and analysis of physiological signals: pulse wave, blood saturation and reaction time during the study of physically inactive people, cyclists and Himalayan climbers doing training on a stationary bicycle.

Abstract:

The engineering thesis focuses on the development and implementation of a mobile application aimed at monitoring reaction time, as well as the creation of a system collecting information on blood oxygen saturation and pulse wave. The research was conducted on three different groups of patients: physically inactive individuals, cyclists, and Himalayan climbers.

As part of the project, a mobile application was developed, with its primary task being the measurement of user reaction time to specific stimuli. The application was optimized for measurement precision, and the collected data were used to analyze reaction speed in various research groups.

Additionally, a measurement system capable of monitoring blood oxygen saturation and pulse wave was implemented. This system was applied in studies involving three groups of patients. In the group of physically inactive individuals, the impact of a lack of physical activity on health parameters was analyzed. For cyclists, adaptations of the circulatory system to intense physical exertion were evaluated, while in the Himalayan climber group, the influence of extreme atmospheric conditions on blood parameters was examined.

The research results indicate significant differences between the groups, confirming varied physiological responses depending on the level of physical activity and the nature of the performed activities. These findings may have significant implications for the field of sports medicine and rehabilitation, suggesting the need to tailor health programs to the individual needs of patients with varying degrees of physical activity.

Keywords:

Reaction Time, Blood Oxygen Saturation, Pulse Wave, Measurement System, Patient Groups, Monitoring Health Parameters, Circulatory System Adaptation, Physical Exertion, Extreme Weather Conditions, Sports Medicine, Rehabilitation, Research Results Analysis, Individual Patient Needs, Interdisciplinary Research.



# Spis treści

Spis treści	V
Spis rysunków	IX
Spis tabel	XI
1. Wprowadzanie	13
1.1. Kontekst badawczy . . . . .	13
1.2. Cel i zakres pracy . . . . .	13
1.3. Motywacja do przeprowadzenia badań . . . . .	14
2. Podłoż Pracy	17
2.1. Zachowanie organizmu w strefie śmierci Himalajów: Wpływ niskiego ciśnienia atmosferycznego na dostępność tlenu . . . . .	17
2.2. Adaptacje układu krwionośnego w warunkach wysokogórskich . . . . .	17
2.3. Pulsoksymetr, a wysokość . . . . .	19
3. Aplikacja Mobilna do Monitorowania Czasu Reakcji	21
3.1. Cel i funkcje aplikacji mobilnej . . . . .	21
3.2. Architektura aplikacji . . . . .	22
3.2.1. Warstwy aplikacji . . . . .	22
3.3. Użyte technologie . . . . .	22
3.4. Komponenty kluczowe . . . . .	23
3.4.1. Interfejs użytkownika . . . . .	23
3.4.2. Transparentność kodu . . . . .	25
3.4.3. Baza danych . . . . .	26
3.5. Testowanie . . . . .	27
3.6. Możliwość rozwoju . . . . .	28

4. Układ pomiarowy do monitorowania saturacji krwi i fali tętna	29
4.1. Wprowadzenie do układu pomiarowego . . . . .	29
4.2. Wykorzystane technologie . . . . .	30
4.2.1. Komponenty fizyczne . . . . .	30
4.2.2. Aspekty programistyczne . . . . .	31
4.3. Montaż układu . . . . .	32
5. Badania	35
5.1. Opis grup pacjentów . . . . .	35
5.1.1. Osoby nieaktywne fizycznie . . . . .	35
5.1.2. Kolarze . . . . .	35
5.1.3. Himalańscy . . . . .	36
5.2. Procedury badawcze . . . . .	36
5.3. Wyniki . . . . .	38
5.3.1. Wyniki osób nieaktywnych fizycznie . . . . .	38
5.3.2. Wyniki kolarzy . . . . .	39
5.3.3. Wyniki himalaistów . . . . .	40
6. Analiza Wyników	43
6.1. Analiza Wyników Osób Nieaktywnych Fizycznie . . . . .	43
6.2. Analiza Wyników Kolarzy . . . . .	43
6.3. Analiza Wyników Himalaistów . . . . .	44
6.4. Analiza Całościowa . . . . .	45
7. Wnioski	47
7.1. Implikacje dla dziedziny medycyny sportowej i rehabilitacji . . . . .	47
7.2. Wnioski z uzyskanych wyników . . . . .	48
7.3. Propozycje dalszych badań . . . . .	48
7.3.1. Rozszerzenie próby badawczej . . . . .	48
7.3.2. Badania w środowisku hipoksyjnym . . . . .	49
8. Podsumowanie	51
8.1. Rekapitulacja celów i osiągnięć pracy . . . . .	51
Bibliografia	53

---

A. Podziękowania	55
B. Wykaz użytego oprogramowania	57



# Spis rysunków

2.1. Dane fizjologiczne pochodzące z 10 badań przeprowadzonych na wysokościach od 3658 do 4330 m. [1] . . . . .	19
3.1. Wzorzec MVP - Model View Presenter [2] . . . . .	22
3.2. Widok ekranu startowego aplikacji . . . . .	24
3.3. Widok ekranu wyboru poziomu . . . . .	24
3.4. Widok ekranu badania . . . . .	25
3.5. Schemat bazy danych . . . . .	26
3.6. Widok ekranu wyników . . . . .	27
4.1. Układ poglądowy wykonany na stronie www.circuito.io . . . . .	29
4.2. Konfiguracja pinów mikrokontrolera w ofercie sprzedaży dostawcy [3] . . . . .	30
4.3. Konfiguracja oraz opis pinów w czujniku MAX30102 [4] . . . . .	31
4.4. Układ Arduino z modułem pulsoksymetru . . . . .	31
4.5. Rysunek techniczny większego pudełka wykonany w programie AutoCAD . . . . .	32
4.6. Rysunek techniczny mniejszego pudełka wykonany w programie AutoCAD . . . . .	33
4.7. Układ pomiarowy zamontowany na rękawicze . . . . .	34
5.1. Oś czasu procedur badawczych . . . . .	37
5.2. Moment badania osoby na rowerku stacjonarnym . . . . .	38
6.1. Porównanie zmiany czasowej średniej wartości tętna kolarzy oraz himalaistów podczas badania . . . . .	44
6.2. Porównanie zmiany czasowej średniej wartości saturacji kolarzy oraz himalaistów podczas badania . . . . .	45



# Spis tabel

5.1. Tabela wyników osób nieaktywnych fizycznie . . . . .	39
5.2. Tabela wyników kolarzy . . . . .	40
5.3. Tabela wyników himalaistów . . . . .	41



# 1. Wprowadzanie

## 1.1. Kontekst badawczy

Współczesne postępy w dziedzinie inżynierii biomedycznej umożliwiają rozwijanie innowacyjnych rozwiązań monitorowania parametrów fizjologicznych w czasie rzeczywistym. W ramach tego kontekstu, praca inżynierska skupia się na projektowaniu i implementacji aplikacji mobilnej oraz układu pomiarowego, mających na celu kompleksową analizę czasu reakcji, saturacji krwi i fali tętna.

Stan wiedzy na temat monitorowania fizjologicznych wskaźników zdrowia wskazuje na istnienie luk w dotychczasowych badaniach, zwłaszcza w kontekście różnic indywidualnych pomiędzy grupami pacjentów o zróżnicowanym stopniu aktywności fizycznej. Zidentyfikowane luki obejmują brak precyzyjnych narzędzi do pomiaru czasu reakcji oraz potrzebę zrozumienia adaptacji układu krążenia w zależności od rodzaju wykonywanej aktywności fizycznej, szczególnie w tak specyficznych warunkach z jakimi mają doczynienia zawodowi himalaisi.

## 1.2. Cel i zakres pracy

Głównym celem niniejszej pracy jest opracowanie, implementacja oraz kompleksowa analiza aplikacji mobilnej oraz układu pomiarowego, mających na celu monitorowanie czasu reakcji, saturacji krwi i fali tętna. Praca skupia się na zastosowaniu zaawansowanych technologii w dziedzinie inżynierii biomedycznej, aby dostarczyć precyzyjne narzędzia do pomiaru i analizy parametrów fizjologicznych.

Dodatkowo zamiarem jest przeprowadzenie badań na trzech różnych grupach

pacjentów: osób nieaktywnych fizycznie, kolarzach oraz himalaistach. Analiza czasu reakcji ma na celu zrozumienie wpływu różnego stopnia aktywności fizycznej na szybkość reakcji organizmu na bodźce. Jednocześnie, monitorowanie saturacji krwi i fali tętna ma na celu ocenę adaptacji układu krążenia wynikającą z obniżonego poziomu tlenu we krwi.

### 1.3. Motywacja do przeprowadzenia badań

Realizacja tych badań stanowi odpowiedź na aktualne wyzwania związane z monitorowaniem parametrów fizjologicznych, jak również przygotowaniem himalaistów do podróży. Motywacją do przeprowadzenia badań w ramach tego projektu jest kilka kluczowych aspektów:

- Zastosowanie Zaawansowanych Technologii: Projekt jest motywowany pragnieniem wykorzystania różnorodnych, nowoczesnych technologii w celu stworzenia efektywnego narzędzia do monitorowania parametrów zdrowotnych oraz umożliwienia prowadzenia badań. Wykorzystano bogactwo dostępnych technologii w celu dostarczenia kompleksowego i zaawansowanego rozwiązania, które pozwoli użytkownikowi na monitorowanie kluczowych wskaźników zdrowotnych.
- Wszechstronna Analiza Wpływ Aktywności Fizycznej: Badania skierowane na trzy zróżnicowane grupy pacjentów (osoby nieaktywne fizycznie, kolarze, himalaści) mają na celu zrozumienie, jak różne poziomy aktywności fizycznej wpływają na badane parametry. Motywacją tkwi w potrzebie wszechstronnej analizy reakcji organizmu na aktywność fizyczną przy obniżonym poziomie tlenu, co ma potencjalne znaczenie dla dostosowania programów zdrowotnych.
- Wprowadzenie Nowych Współczynników Analizy Zdrowia: Zaproponowano wprowadzenie nowych mierników do oceny zdrowia, takich jak czas reakcji, saturacja krwi i fala tętna. Motywacją jest poszukiwanie bardziej precyzyjnych i spersonalizowanych wskaźników, które mogą dostarczyć istotnych informacji na temat zdrowia pacjentów oraz przygotowania ich do specjalistycznego wysiłku.
- Zastosowanie W Medycynie Sportowej i Rehabilitacji: Wyniki badań mogą mieć istotne znaczenie dla dziedzin medycyny sportowej i rehabilitacji, sugerując dostosowanie programów zdrowotnych do indywidualnych potrzeb pa-

cjentów, w szczególności dla poprawy wydolności himalaistów. Motywacją jest poszukiwanie praktycznych zastosowań uzyskanej wiedzy w obszarach, gdzie precyzyjne monitorowanie parametrów fizjologicznych jest kluczowe.

- Współpraca z Różnymi Grupami Pacjentów: Motywacją jest chęć dostarczenia wartościowej wiedzy dla różnych grup pacjentów, zarówno tych aktywnych fizycznie, jak i tych, którzy prowadzą siedzący tryb życia. Wsparcie zdrowia zarówno dla sportowców, jak i osób nieaktywnych fizycznie jest istotnym celem tej pracy.



## 2. Podłoż Pracy

### 2.1. Zachowanie organizmu w strefie śmierci Himalajów: Wpływ niskiego ciśnienia atmosferycznego na dostępność tlenu

”Dead zone”, znana również jako strefa śmierci, to obszar na dużych wysokościach górskich, gdzie ciśnienie atmosferyczne jest na tyle niskie, że ilość tlenu jest zbyt mała, by utrzymać życie. Przykładem takiej strefy jest tzw. ”Death Zone” w Himalajach, znajdująca się powyżej wysokości około 8 000 metrów nad poziomem morza. W strefie śmierci organizm ludzki zaczyna doświadczać poważnych problemów związanych z niedoborem tlenu. Oto kilka głównych aspektów zachowania organizmu pod względem tlenu na wysokościach, zwłaszcza w obszarach dead zone:, niedotlenienie, objawy choroby wysokościowej, zmniejszona sprawność fizyczna, zespół cienkiego powietrza, ryzyko obrzęku mózgu i płuc. [5]

Z tego powodu himalaistom podejmującym wyzwania na obszarach dead zone zaleca się staranne przygotowanie fizyczne i aklimatyzację, a także świadomość własnego organizmu i objawów choroby wysokościowej. W przypadku dłuższego pobytu w takich warunkach, konieczne może być korzystanie z butli z dodatkowym tlenem, co pomaga złagodzić skutki niedoboru tlenu.

### 2.2. Adaptacje układu krwionośnego w warunkach wysokogórskich

Adaptacje układu krwionośnego w warunkach wysokogórskich są kompleksowymi zmianami fizjologicznymi, jakie zachodzą w organizmie w odpowiedzi na ekstremalne

warunki panujące na dużych wysokościach. Poniżej opisano główne adaptacje układu krwionośnego [6], które występują w warunkach wysokogórskich:

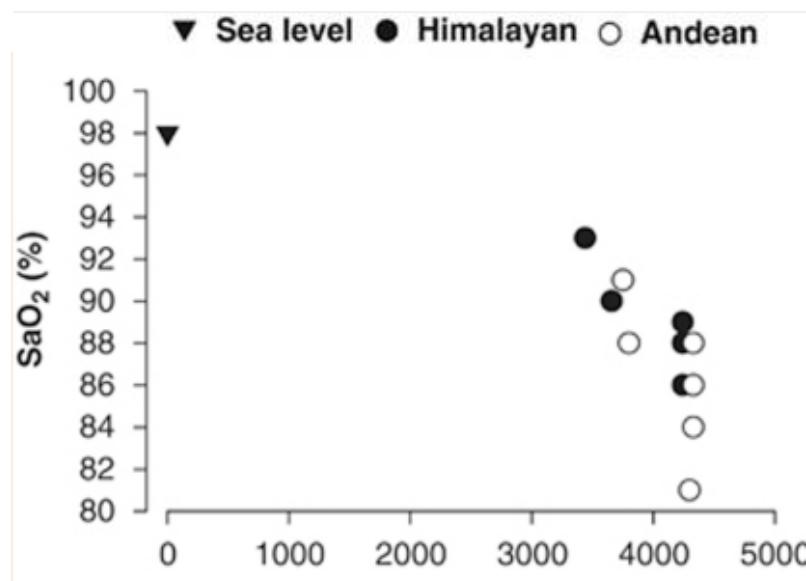
- Zwiększenie liczby czerwonych krwinek (erytropoeza): Jedną z kluczowych adaptacji jest zwiększenie produkcji czerwonych krwinek w szpiku kostnym w odpowiedzi na niską dostępność tlenu na dużych wysokościach. To zjawisko, nazywane erytropoezą, ma na celu zwiększenie zdolności krwi do transportu tlenu.
- Zwiększenie hematokrytu: Hematokryt to odsetek objętości krwi zajmowanej przez czerwone krewinki. W warunkach wysokogórskich organizm może zwiększyć hematokryt, co pomaga w efektywniejszym przenoszeniu tlenu z płuc do tkanek.
- Zmniejszenie lepkości krwi: W odpowiedzi na hipoksję, organizm może zmniejszyć lepkość krwi, co ułatwia przepływ krwi przez naczynia w warunkach niskiego ciśnienia atmosferycznego.
- Zmniejszenie ciśnienia parcjalnego tlenu w płucach: Na dużych wysokościach, ciśnienie atmosferyczne jest niższe, co wpływa na ciśnienie parcjalne tlenu w płucach. To może prowadzić do zmniejszenia zdolności organizmu do nasycania krwi tlenem.
- Zwiększenie wentylacji płuc: W warunkach hipoksji organizm może zwiększyć tempo i głębokość oddechów w celu zwiększenia dostarczania tlenu do płuc.
- Regulacja przepływu krwi w narządach: W warunkach niskiego ciśnienia atmosferycznego organizm reguluje przepływ krwi w poszczególnych narządach, aby zaspokoić zwiększone zapotrzebowanie na tlenu w mięśniach i innych tkanках.

Te adaptacje pozwalają organizmowi lepiej radzić sobie z warunkami niskiego ciśnienia atmosferycznego i niedoboru tlenu na dużych wysokościach. Jednakże, istnieje indywidualna zmienność w zakresie adaptacji między różnymi osobami, a niektóre osoby mogą doświadczać problemów związanych z chorobą wysokościową, która wynika z trudności w dostosowaniu się do ekstremalnych warunków wysokogórskich.

### 2.3. Pulsoksymetr, a wysokość

Pulsoksymetr to przenośne urządzenie medyczne służące do pomiaru ilości tlenu we krwi oraz pulsu. Pulsoksymetr wykorzystuje dwa główne parametry do oceny stanu pacjenta: Saturacja tlenu ( $\text{SpO}_2$ ) - To procentowy stosunek tlenu do hemoglobiny we krwi. Pulsoksymetr mierzy stopień nasycenia krwi tlenem, co jest istotne dla monitorowania prawidłowego funkcjonowania układu oddechowego oraz puls - liczbę uderzeń serca na minutę. Ten parametr pomaga ocenić rytm serca i ogólną funkcję krążenia. Badania nad wynikami pulsoksymetru ( $\text{SpO}_2$ ) w kontekście zmieniającej się wysokości dostarczają istotnych informacji na temat adaptacji organizmu do ekstremalnych warunków górskich.

Obserwuje się tendencję do spadku poziomu  $\text{SpO}_2$  w miarę wzrostu wysokości [7]. Istnieje znaczące zróżnicowanie między osobami w zakresie reakcji na zmiany wysokości. Niektórzy mogą utrzymywać stosunkowo stabilne wartości  $\text{SpO}_2$  w warunkach wysokogórskich, podczas gdy inni doświadczają znaczących spadeków, co może wpływać na ich zdolność do funkcjonowania w trudnych warunkach. Badania sugerują, że spadek  $\text{SpO}_2$  może być związany z występowaniem objawów choroby wysokościowej, takich jak ból głowy, nudności czy ogólne osłabienie organizmu. Monitoring poziomu  $\text{SpO}_2$  może więc służyć jako wczesny wskaźnik potencjalnych problemów zdrowotnych na dużych wysokościach.



Rys. 2.1. Dane fizjologiczne pochodzące z 10 badań przeprowadzonych na wysokościach od 3658 do 4330 m. [1]



### 3. Aplikacja Mobilna do Monitorowania Czasu Reakcji

#### 3.1. Cel i funkcje aplikacji mobilnej

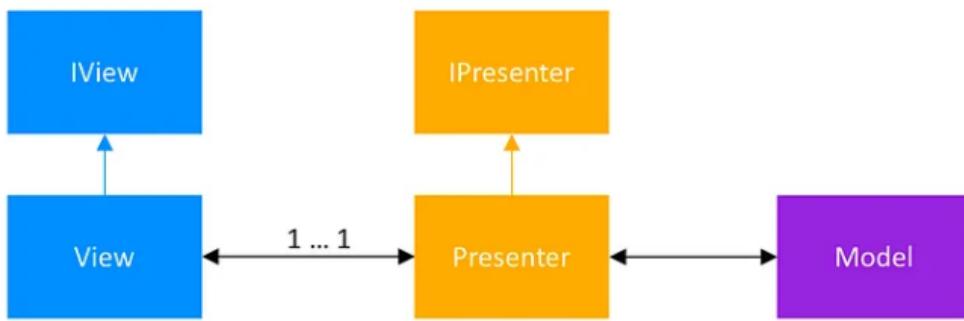
Aplikacja mobilna została stworzona w celu precyzyjnego pomiaru czasu reakcji, oferując trzy poziomy pomiarowe dostosowane do różnych stopni trudności. Na pierwszym poziomie, łatwym, osoba badana musi wybrać guzik o kolorze identycznym z prezentowanym kolorem. W poziomie trudnym prezentowany kolor różni się od koloru guzika, który użytkownik musi wybrać. Najwyższy poziom trudności, zwany bardzo trudnym, utrzymuje zasadę poziomu trudnego, jednak aktywuje również dźwięk o charakterze drażniącym.

Podczas pomiaru, osoba badana widzi jeden z czterech prezentowanych kolorów, a jej zadaniem jest jak najszybsze wybranie guzika odpowiadającego temu kolorowi. Aplikacja precyzyjnie mierzy czas od chwili wyświetlenia koloru do momentu kliknięcia, co pozwala określić czas reakcji. Wyniki pomiarów są zapisywane, a każdy pomiar jest przypisany do nazwy wprowadzonej przed rozpoczęciem pomiaru, umożliwiając łatwe powiązanie wyników z konkretnym uczestnikiem badania.

Aplikacja ma zastosowanie w badaniach nad wpływem niskiego poziomu tlenu na czas reakcji człowieka. Zaprojektowana jest z myślą o dalszych badaniach, gdzie możliwe będzie zbadanie, jak warunki niskiego tlenu wpływają na szybkość reakcji użytkownika. Ta funkcjonalność pozwala na kompleksową analizę reakcji na bodźce wizualne i dźwiękowe, a zebrane dane mogą stanowić istotny wkład w zrozumienie wpływu warunków środowiskowych na funkcje poznawcze człowieka.

### 3.2. Architektura aplikacji

Do implementacji struktury aplikacji mobilnej, wykorzystano architekturę Model-Widok-Prezenter (MVP) . Architektura MVP jest rozwiązaniem, które doskonale sprawdza się w projektach wymagających jasnego podziału odpowiedzialności pomiędzy warstwami oraz zapewniających elastyczność i łatwość testowania.



Rys. 3.1. Wzorzec MVP - Model View Presenter [2]

#### 3.2.1. Warstwy aplikacji

Architektura MVP dzieli strukturę aplikacji na trzy główne komponenty:

- Model: Odpowiada za reprezentację danych oraz logikę biznesową. W wykorzystywanej aplikacji model zawiera logikę związaną z pomiarom czasu reakcji, gromadzeniem wyników i komunikacją z bazą danych.
- Widok: Odpowiada za prezentację danych użytkownikowi oraz obsługę interakcji. Elementy interfejsu użytkownika, takie jak ekran pomiaru czasu reakcji w różnych poziomach trudności składają się na elementy Widoku.
- Prezenter: Pośredniczy pomiędzy modelem a widokiem, przekazując dane oraz sterując logiką biznesową. W przedstawionej implementacji prezenter zarządza procesem pomiaru czasu reakcji, obsługą interakcji użytkownika oraz aktualizacją danych modelu.

### 3.3. Użyte technologie

Aplikacja mobilna wykorzystuje zaawansowane technologie programistyczne, bazy danych i platformy wspomagające analizę czasu reakcji. Wykorzystanie wspomnianych technologii stanowi integralną część projektu, umożliwiającą nie tylko efektyw-

ne monitorowanie parametrów fizjologicznych, ale także zapewniającą skalowalność i łatwą dostępność danych dla analizy i interpretacji wyników badań. Poniżej przedstawiono kluczowe elementy technologiczne zastosowane w aplikacji:

- Android Studio i Java: Aplikacja mobilna została profesjonalnie opracowana w środowisku Android Studio, wykorzystując język programowania Java. Android Studio, będące oficjalnym narzędziem programistycznym dla platformy Android, dostarcza efektywnego środowiska do skutecznej pracy nad projektami, zapewniając jednocześnie intuicyjny interfejs użytkownika.
- Firebase: W celu trwałego przechowywania i zarządzania danymi aplikacji, zdecydowano się na wykorzystanie platformy Firebase, kompleksowej usługi od Google. Wykorzystanie Firebase Realtime Database [8] umożliwiło składowanie danych dotyczących czasu reakcji, saturacji krwi i fali tętna. Oferuje ona synchronizację w czasie rzeczywistym, co jest kluczowe dla dynamicznych badań.
- Gradle: System budowania projektu oparty na Gradle został zastosowany dla efektywnego zarządzania zależnościami, konfiguracją i budowaniem aplikacji. Gradle ułatwia integrację różnych modułów, w tym Firebase, przyczyniając się do płynnego procesu tworzenia i aktualizacji projektu.

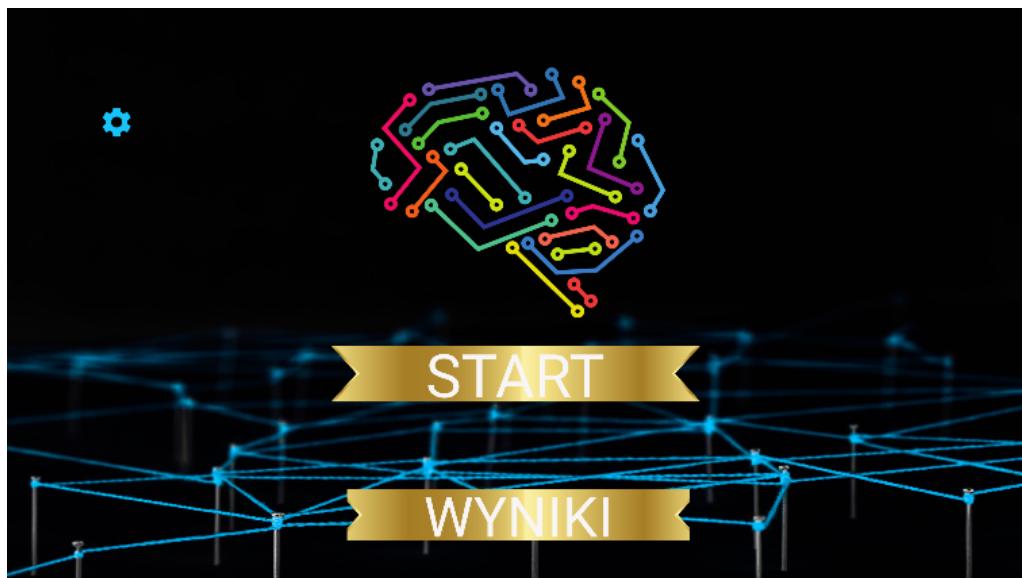
## 3.4. Komponenty kluczowe

### 3.4.1. Interfejs użytkownika

Interfejs użytkownika (UI) to kluczowy element aplikacji, umożliwiający użytkownikowi intuicyjne korzystanie z funkcji pomiaru czasu reakcji. UI zaprojektowano w sposób ergonomiczny, zgodnie z zasadami designu interaktywnego, aby dostarczyć użytkownikowi intuicyjnego i przyjemnego doświadczenia.

Strategiczne rozmieszczenie guzików na stronie startowej ma na celu zminimalizowanie liczby kroków potrzebnych do dostępu do kluczowych funkcji aplikacji. Atrakcyjne logo oraz czytelne, estetycznie wykonane guziki są integralną częścią zapewnienia przyjemnego i intuicyjnego doświadczenia użytkownika podczas korzystania z aplikacji, co jest istotne dla celów badawczych oraz późniejszej analizy wyników pomiarów.

Po naciśnięciu przycisku START, użytkownik przechodzi do ekranu wyboru po-



Rys. 3.2. Widok ekranu startowego aplikacji

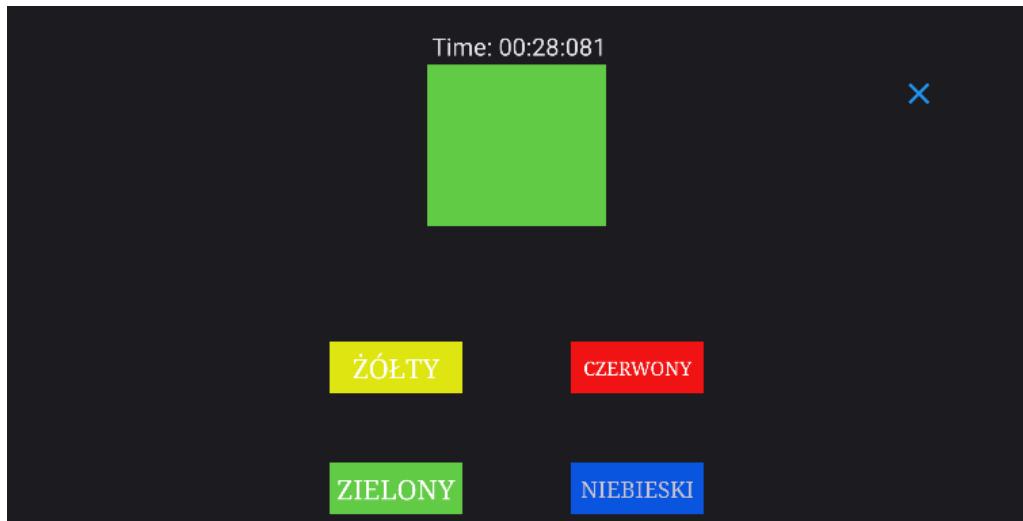
ziomu trudności. To kluczowe ognisko aplikacji, które umożliwia spersonalizowaną adaptację pomiarów czasu reakcji do umiejętności i oczekiwania użytkownika. Na tym ekranie użytkownik ma do wyboru trzy różne poziomy trudności, które zostały opisane powyżej.



Rys. 3.3. Widok ekranu wyboru poziomu

Po wyborze poziomu trudności użytkownik przechodzi do kolejnego etapu, gdzie wprowadza imię osoby biorącej udział w badaniu. To personalizuje pomiar i umożliwia identyfikację wyników. Po wpisaniu imienia użytkownik przystępuje do właściwego badania, które jest centralnym punktem aplikacji.

Na środku ekranu użytkownikowi prezentowany jest jeden z czterech losowo wybranych kolorów: żółty, czerwony, niebieski, zielony. Kolory te są prezentowane w sposób losowy, co zwiększa trudność i różnorodność pomiarów. Jednocześnie na górze ekranu widoczny jest stoper, który precyzyjnie mierzy czas od ostatniego wyboru koloru.



Rys. 3.4. Widok ekranu badania

### 3.4.2. Transparentność kodu

Logika działania aplikacji bejmuje wszystkie procesy i algorytmy związane z pomiarami czasu reakcji oraz interakcjami z użytkownikiem. Prezenter pełni kluczową rolę w zarządzaniu logiką działania, kontrolując sekwencję pomiarów, obsługując interakcje użytkownika i komunikując się z modelem oraz bazą danych.

Cały kod źródłowy aplikacji został udostępniony publicznie na platformie GitHub [9], co umożliwia pełną transparentność, współpracę oraz dostępność dla społeczności programistycznej. W repozytorium znajdują się wszystkie niezbędne pliki, w tym strukturę projektu, kod, pliki konfiguracyjne oraz dodatkowe zasoby. Ze względu na rozmiar kodu i złożoność jego struktury, omawianie go w ramach pracy byłoby nieefektywne. Zachęcam do zapoznania się z kodem na platformie GitHub, gdzie każdy fragment jest starannie udokumentowany, a kod głównego działania aplikacji stanowi serce projektu. Link do repozytorium jest dostępny w źródłach pracy.

### 3.4.3. Baza danych

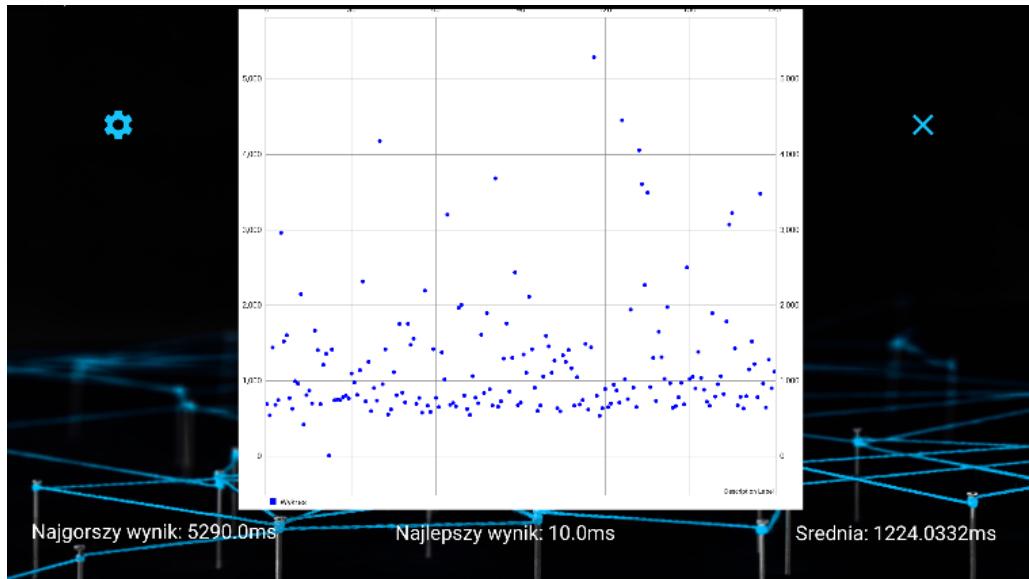
Do przechowywania wyników uzyskanych podczas badań została wykorzystana zaawansowana platforma Firebase. Struktura bazy danych została starannie zaprojektowana, aby efektywnie gromadzić i udostępniać informacje na temat czasu reakcji użytkowników.

Column Name	Data Type
Subject_ID	int
Name	varchar(50)
Mean_value	int
Max_value	int
Min_value	int

Rys. 3.5. Schemat bazy danych

Dzięki tej strukturze, każde badanie jest identyfikowane przez nazwę, a wyniki związane z danym badaniem są przechowywane w odpowiednich gałęziach bazy danych. Poszczególne wyniki zawierają informacje o imieniu osoby badanej, jak również o minimalnym, maksymalnym oraz średnim czasie reakcji. Wyniki uzyskane w trakcie badania są dostępne zarówno dla osób badanych, które mogą natychmiast otrzymać informacje o swoim czasie reakcji, jak i dla osób analizujących, które mają dostęp do wyników w późniejszym czasie. To zapewnia kompleksową analizę i interpretację zebranych danych.

Zintegrowane działanie tych trzech kluczowych komponentów zapewnia nie tylko płynne i precyzyjne pomiary czasu reakcji, ale również umożliwia gromadzenie danych w sposób, który będzie fundamentalny dla przyszłych badań nad wpływem niskiego poziomu tlenu na czas reakcji ludzi, zwłaszcza w kontekście warunków ekstremalnych, takich jak w górach.



Rys. 3.6. Widok ekranu wyników

### 3.5. Testowanie

W kontekście testowania aplikacji mobilnej do monitorowania czasu reakcji, przeprowadzono szereg różnorodnych testów [10], obejmujących kluczowe aspekty funkcjonalne, interfejs użytkownika oraz wydajność. Szczegółowy opis przeprowadzonych testów:

- Testy Jendostkowe: Sprawdzenie poprawność działania poszczególnych funkcji, takich jak generowanie losowego koloru, pomiar czasu reakcji czy zapis wyników oraz upewnienie się, że funkcje obsługują różne scerausze. w tym poprawne i niepoprawne dane wejściowe.
- Testy Integracyjne: Upewnienie się, że dane są przekazywane i odbierane poprawnie między interfejsem użytkownika a logiką biznesową.
- Testy Interfejsu Użytkownika: Przetestowano interfejs użytkownika pod kątem intuicyjności i łatwości obsługi oraz zapewnienie, że interfejs jest responsywny na różnych urządzeniach i rozdzielczościach
- Testy Bazy Danych: Sprawdzenie poprawności zapisywania i odczytywania danych z bazy Firebase

### 3.6. Mozliwość rozwoju

Aplikacja do monitorowania czasu reakcji stanowi dynamiczne narzędzie badawcze, oferujące rozległy potencjał rozwoju. Możliwość rozszerzenia poziomów trudności wzbogaci badania nad reakcjami fizjologicznymi, umożliwiając prowadzenie zaawansowanych analiz. Funkcja personalizacji pozwoli użytkownikom dostosować ustawienia badań do swoich preferencji, co wpłynie na bardziej zindywidualizowane i trafne wyniki. Zaawansowane narzędzia analizy statystycznej dodadzą głębszego kontekstu zrozumienia wyników badań, podnosząc jakość analizy. Dodatkowo, funkcje powiadomień i motywacji zwiększą zaangażowanie użytkowników, sprzyjając regularnym badaniom.

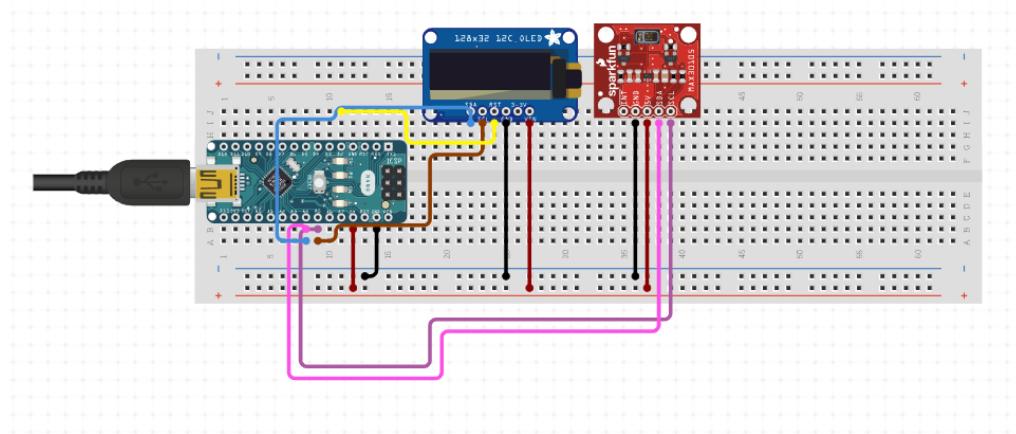
Rozwinięcie aplikacji o współpracę zespołową umożliwi analizę grupową i agregację wyników, co może przyczynić się do bardziej kompleksowych wniosków. Integracja z urządzeniami noszonymi, takimi jak smartwatche, pozwoli na ciągłe monitorowanie parametrów fizjologicznych, co jest istotne w kontekście długotrwałych badań. Optymalizacja interfejsu użytkownika i estetyczne doświadczenie są kluczowe dla zadowolenia i skuteczności użytkowania. Współpraca z naukowcami i instytucjami badawczymi otworzy drzwi do interdyscyplinarnych analiz, poszerzając zakres zastosowań aplikacji.

Przeniesienie aplikacji na różne platformy mobilne, takie jak iOS, zapewniłoby szeroką dostępność, dotarcie do szerszego grona użytkowników oraz zwiększenie wpływu aplikacji na społeczność badawczą. Wprowadzenie dodatkowych warstw bezpieczeństwa, takich jak szyfrowanie danych, podniesie poziom ochrony prywatności użytkowników, co jest kluczowe w kontekście przechowywania danych medycznych. Całkowity rozwój aplikacji w oparciu o te kierunki przysłuży się jej popularności, ułatwiając jednocześnie zaawansowane badania w monitorowaniu parametrów fizjologicznych.

## 4. Układ pomiarowy do monitorowania saturacji krwi i fali tętna

### 4.1. Wprowadzenie do układu pomiarowego

Układ ma na celu dostarczenie narzędzia do kompleksowego monitorowania parametrów fizjologicznych w czasie rzeczywistym takich jak saturacja krwi oraz fala tętna, umożliwiając jednocześnie mobilność i łatwość użytkowania. Dzięki temu badania z wykorzystaniem tego układu mogą dostarczyć cennych informacji na temat reakcji organizmu na różne bodźce oraz zmian w warunkach środowiskowych.



Rys. 4.1. Układ poglądowy wykonany na stronie [www.circuito.io](http://www.circuito.io)

Układ został celowo zaprojektowany w minimalistycznym stylu, aby umożliwić wygodne przymocowanie do rękawiczki, którą nosi osoba badana. Jego kompaktowa forma i lekka konstrukcja pozwalają na swobodne użytkowanie, minimalizując jednocześnie wpływ na naturalne ruchy i komfort badanego. Wszystkie wykorzysta-

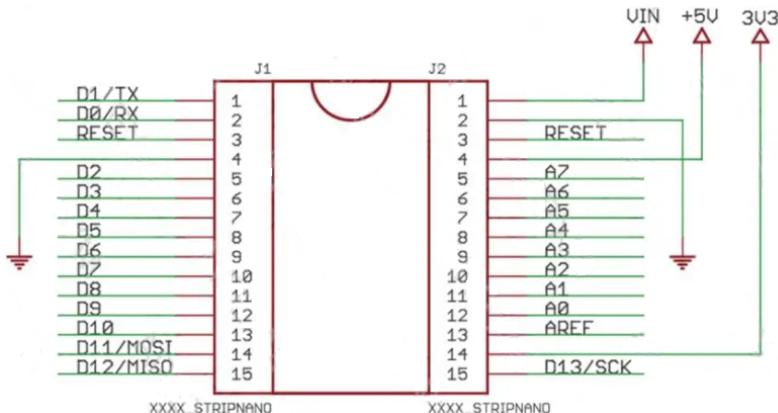
ne technologie, takie jak mikrokontroler Arduino Nano, czujnik pulsoksymetryczny MAX30102, czy wyświetlacz OLED 128x64, zostały dokładnie opisane w poprzednich sekcjach. Dzięki takiemu podejściu, układ spełnia funkcję efektywnego narzędzia do zbierania danych fizjologicznych, zachowując jednocześnie prostotę i praktyczność w użyciu.

## 4.2. Wykorzystane technologie

Stworzony został kompleksowy układ pomiarowy, umożliwiający zbieranie danych dotyczących czasu reakcji, saturacji krwi i fali tętna. Poniżej przedstawiono szczegółowy opis implementacji poszczególnych komponentów układu:

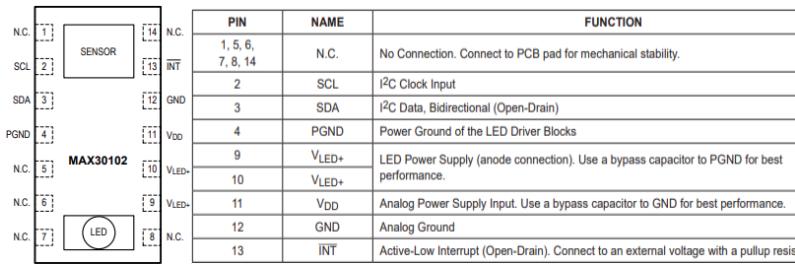
### 4.2.1. Komponenty fizyczne

- Mikrokontroler Arduino Nano: Układ sterujący oparty na mikrokontrolerze Arduino Nano, charakteryzującym się kompaktowym designem i wysoką wydajnością. Odpowiada za odbiór danych z czujnika MAX30102, ich efektywne przetwarzanie oraz kontrolę wyświetlacza OLED



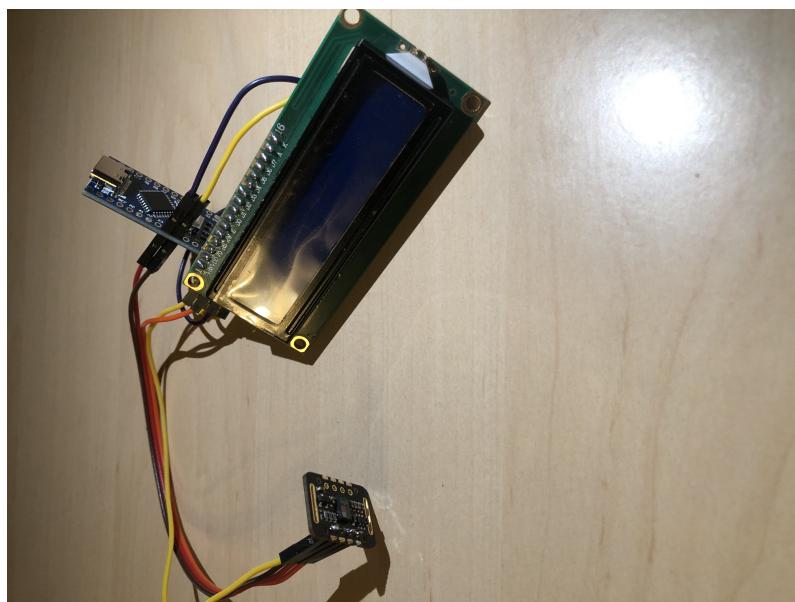
Rys. 4.2. Konfiguracja pinów mikrokontrolera w ofercie sprzedawy dostawcy [3]

- Czujnik Pulsoksymetryczny MAX30102: Centralny element pomiarowy oparty na czujniku MAX30102, specjalnie zaprojektowanym do precyzyjnych pomiarów saturacji krwi i fali tętna. Zlokalizowany na palcu, co umożliwia bezpośrednie i komfortowe zbieranie danych dotyczących parametrów fizjologicznych.
- Wyświetlacz OLED 128x64: Wykorzystano wyświetlacz OLED o rozdzielczości 128x32 pikseli do wizualizacji wyników pomiarów. Zapewnia intuicyjne prezen-



Rys. 4.3. Konfiguracja oraz opis pinów w czujniku MAX30102 [4]

towanie informacji na bieżąco, co ma kluczowe znaczenie zarówno dla użytkownika, jak i podczas procesu kalibracji układu.



Rys. 4.4. Układ Arduino z modułem pulsoksymetru

#### 4.2.2. Aspekty programistyczne

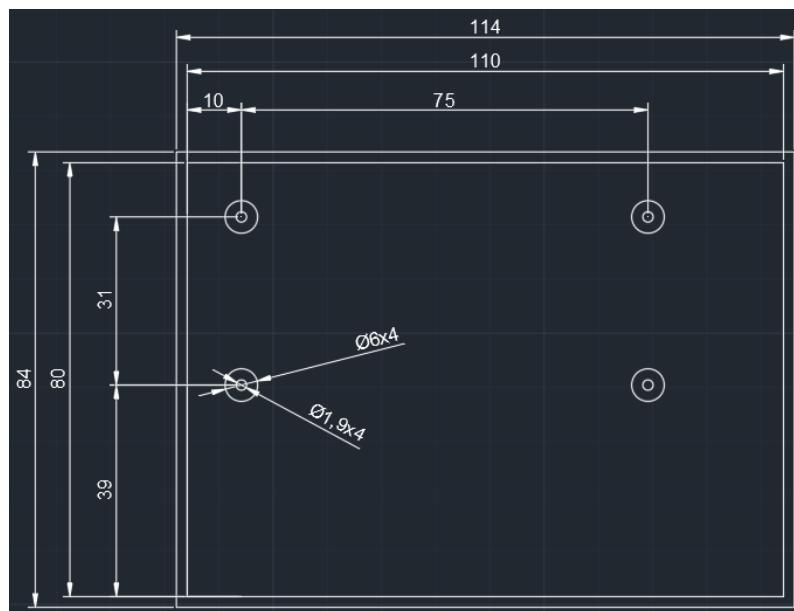
- Arduino IDE: W projekcie wykorzystano środowisko programistyczne Arduino IDE, specjalnie zaprojektowane do programowania mikrokontrolerów Arduino [11]. To narzędzie oferuje prosty interfejs użytkownika oraz zestaw bibliotek umożliwiających programowanie układów mikroprocesorowych.
- Język Programowania C++: Do programowania mikrokontrolera Arduino Na- no użyto języka programowania C++. Język ten jest powszechnie stosowany w programowaniu mikrokontrolerów i zapewnia efektywną kontrolę nad dzia- łaniem układów. Dzięki zastosowaniu Arduino IDE i języka C++, udało się precyjnie sterować procesami pomiarowymi, co miało kluczowe znaczenie

dla uzyskania wysokiej jakości danych pomiarowych.

- Biblioteki: Obydwa wykorzystane fragmenty kodu zostały zmodyfikowane i dostosowane w kontekście pracy inżynierskiej, wykorzystując dostępną publicznie bibliotekę `SparkFun_MAX3010x_Pulse_and_Proximity_Sensor_Library`.

### 4.3. Montaż układu

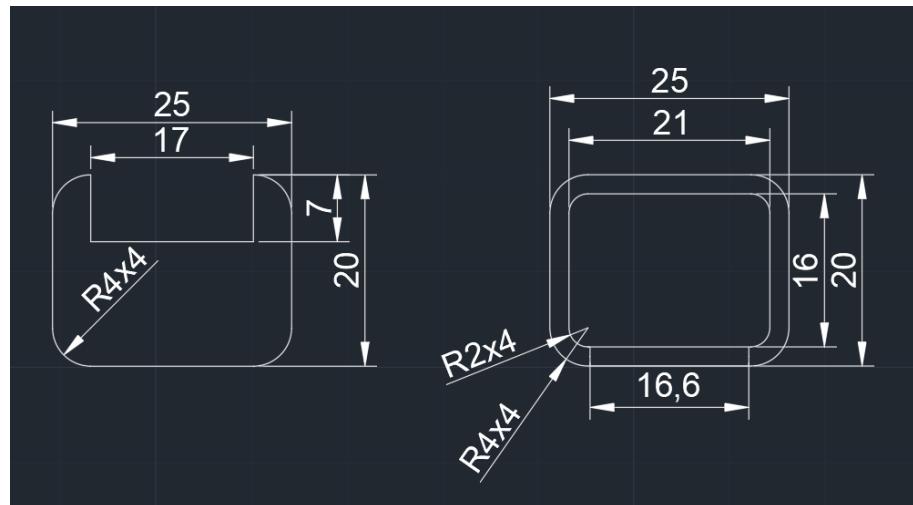
Główna część układu została starannie umieszczona w pudełku wydrukowanym przy użyciu drukarki 3D VORON 0.1. Projekt obudowy został stworzony za pomocą zaawansowanej aplikacji Fusion 360. Projekcja pudełka uwzględniała ergonomiczne wymiary, a także precyzyjnie zaplanowane otwory, mające spełniać różnorodne funkcje. W trakcie projektowania uwzględniono otwór umożliwiający obserwację wyników pomiarów na wyświetlaczu OLED, co pozwala użytkownikowi na monitorowanie danych w czasie rzeczywistym. Dodatkowo przewidziano otwory na zamocowanie poszczególnych komponentów, takie jak miejsce na odprowadzenie kabli czy otwór umożliwiający podpięcie płytki do komputera w celu konfiguracji czy aktualizacji oprogramowania. Dla zabezpieczenia czujnika przed uszkodzeniem, specjalnie



Rys. 4.5. Rysunek techniczny większego pudełka wykonany w programie AutoCAD

zaprojektowano i wydrukowano pudełko, które skutecznie ochrania ten kluczowy element układu. Projekt pudełka dla czujnika został dostosowany do jego kształtu i wymiarów, zapewniając idealne dopasowanie oraz ochronę przed ewentualnymi

uszkodzeniami mechanicznymi. Takie staranne podejście do projektowania obudowy gwarantuje nie tylko estetyczny wygląd układu, ale także funkcjonalność oraz łatwość obsługi. Otwory i szczegóły konstrukcyjne zostały dokładnie dostosowane do potrzeb użytkownika, zapewniając jednocześnie trwałość i ochronę komponentów. Całość układu została solidnie zamocowana na rękawiczce, co zapewnia stabilność



Rys. 4.6. Rysunek techniczny mniejszego pudełka wykonany w programie AutoCAD

i wygodę noszenia przez osobę badaną. Przewody zostały starannie odprowadzone i zabezpieczone, umożliwiając jednocześnie przypięcie czujnika do palca. Zaizolowane kable gwarantują nie tylko bezpieczne połączenia elektryczne, ale także komfort użytkowania oraz ochronę przed ewentualnymi zakłóceniami zewnętrznymi.



Rys. 4.7. Układ pomiarowy zamontowany na rękawicze

## 5. Badania

### 5.1. Opis grup pacjentów

Poniżej szczegółowo zaprezentowano charakterystykę trzech zróżnicowanych grup badawczych. Każda z tych grup została starannie wyselekcjonowana, aby dostarczyć pełniejszego obrazu wpływu aktywności fizycznej na parametry fizjologiczne.

#### 5.1.1. Osoby nieaktywne fizycznie

Grupa osób nieaktywnych fizycznie w ramach badania obejmowała jednostki charakteryzujące się niskim stopniem aktywności fizycznej w ich życiu codziennym. Charakterystyka tej grupy obejmowała:

- Styl Życia: Niska aktywność fizyczna w codziennych czynnościach, praca biurowa lub inna forma niewielkiego wysiłku fizycznego oraz brak regularnych sesji treningowych lub aktywności rekreacyjnych.
- Stan Zdrowia: Możliwe występowanie problemów zdrowotnych związanych z brakiem aktywności fizycznej, takich jak nadwaga, obniżona kondycja czy problemy z układem krążenia. Potencjalne ryzyko występowania chorób związanych z brakiem ruchu, takich jak schorzenia sercowo-naczyniowe.

#### 5.1.2. Kolarze

Grupa kolarzy składała się z uczestników charakteryzujących się wysokim stopniem aktywności fizycznej, związanym głównie z intensywnym treningiem na rowerze stacjonarnym lub tradycyjnym. Oto specyfika tej grupy:

- Intensywny Wysiłek Fizyczny: Regularne i intensywne treningi na rowerze stacjonarnym oraz Długotrwałe sesje treningowe skoncentrowane na poprawie wydolności fizycznej.
- Styl Życia: Możliwe zaangażowanie w zawody kolarskie, co może wpływać na intensywność treningów oraz Aktywność fizyczna jako kluczowy element codziennego życia.

### 5.1.3. Himalaiści

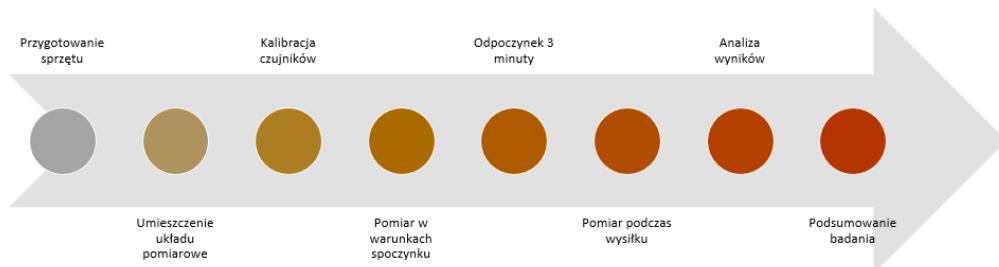
Grupa himalaistów składała się z doświadczonych alpinistów, którzy w przeciągu ostatnich 4 miesięcy przynajmniej raz znajdowali się na wysokości powyżej 4000 m n.p.m., charakterystycznych dla wysokich gór. Poniżej przedstawiono charakterystykę tej grupy, ze szczególnym uwzględnieniem ekstremalnych warunków atmosferycznych:

- Ekstremalne Warunki Treningowe: Ćwiczenia w warunkach wysokogórskich, gdzie zmniejszone ciśnienie atmosferyczne i niedobór tlenu stwarzają wyjątkowe wyzwania fizjologiczne oraz Trenowanie w warunkach niskich temperatur i zmiennej pogody.
- Styl Życia: Częste ekspedycje w wysokie góry, wymagające wytrzymałości fizycznej i psychicznej, jak również Długotrwałe przebywanie w warunkach ekstremalnych, z długimi okresami narażenia na wysokogórskie warunki atmosferyczne.

## 5.2. Procedury badawcze

Procedury badawcze dla trzech wyżej wymienionych grup pacjentów obejmowały szczegółowe pomary parametrów fizjologicznych w warunkach ekstremalnych, charakterystycznych dla środowiska wysokogórskiego. Kroki procedury badawczej zostały przedstawione na grafie poniżej, a następnie opisane szczegółowo.

Badania rozpoczęto od precyzyjnego przygotowania sprzętu badawczego, obejmującego układ pomiarowy, rower stacjonarny oraz tablet z przygotowaną aplikacją do badania czasu reakcji. Układ pomiarowy został zamocowany na rękawiczce, zapewniając im komfort i swobodę ruchów. Każda badana osoba wykonywała ćwiczenia na jednakowych parametrach rowerka.



Rys. 5.1. Oś czasu procedur badawczych

Następnie przeprowadzono procedurę kalibracji czujników, aby upewnić się, że dokładnie odzwierciedlają one warunki fizjologiczne osób badanych. Pomiarów parametrów fizjologicznych dokonano zarówno w warunkach spoczynku, jak i podczas treningu (30, 60, 120, 180, 240, 320 sekund) na rowerze stacjonarnym marki Bodymaker. W trakcie badania dynamicznego wszyscy badani zostali wyposażeni w słomki do oddychania, symulując warunki wysokogórskie. Trening był prowadzony do momentu, kiedy osoba badana odczuwała dyskomfort lub brak sił do dalszego przeprowadzenia treningu, co stanowiło kryterium zakończenia. Ta elastyczność w podejściu do treningu pozwalała dostosować badanie do indywidualnych możliwości i komfortu każdego uczestnika.

Zgromadzone dane poddano analizie w celu porównania różnic w parametrach fizjologicznych w różnych fazach treningu oraz identyfikacji ewentualnych zmian wynikających z warunków atmosferycznych. Podsumowanie wyników badania zawierało wskazanie ewentualnych tendencji, różnic i cennych obserwacji, dostarczając kompleksowej analizy wpływu ekstremalnych warunków górskich na parametry krwi tej grupy.



Rys. 5.2. Moment badania osoby na rowerku stacjonarnym

### 5.3. Wyniki

Poniżej prezentowane są wyniki pomiarów saturacji krwi i fali tętna oraz czasu reakcji, odpowiednio oznaczone SpO<sub>2</sub>, HR, ΔtRekacji w trzech zróżnicowanych grupach badawczych: osobach nieaktywnych fizycznie, kolarzach oraz himalaistach. Celem analizy było zrozumienie wpływu różnego stopnia aktywności fizycznej na szybkość reakcji organizmu na bodźce, a także ocena adaptacji układu krążenia w kontekście obniżonego poziomu tlenu we krwi.

Wyniki pomiarów zostały zestawione i przedstawione w formie tabelarycznej, umożliwiając szczegółową analizę oraz porównanie między poszczególnymi grupami. Przedstawienie danych w tej formie pozwala na lepsze zrozumienie różnic w reakcjach fizjologicznych w zależności od stopnia aktywności fizycznej, co stanowi istotny wkład w badania nad wpływem aktywności fizycznej na parametry zdrowotne organizmu.

#### 5.3.1. Wyniki osób nieaktywnych fizycznie

Tab. 5.1. Tabela wyników osób nieaktywnych fizycznie

	Nr. pacjenta	1	2	3	4	5
Spoczynek	SpO2 [%]	99	99	99	99	99
	HR [bpm]	103	71	56	88	83
	ΔtReakcji [s]	1,09	1	1,74	0,89	0,94
30 s	SpO2 [%]	99	98	98	98	98
	HR [bpm]	110	82	78	92	104
	ΔtReakcji [s]	1,25	1,15	2,2	1,09	1,15
60 s	SpO2 [%]	98	96	97	96	97
	HR [bpm]	127	94	96	101	130
	ΔtReakcji [s]	1,3	1,22	1,93	1,25	1,17
120 s	SpO2 [%]	-	-	94	93	87
	HR [bpm]	-	-	106	121	140
	ΔtReakcji [s]	-	-	2,4	2,14	1,53
180 s	SpO2 [%]	-	-	-	-	-
	HR [bpm]	-	-	-	-	-
	ΔtReakcji [s]	-	-	-	-	-
240 s	SpO2 [%]	-	-	-	-	-
	HR [bpm]	-	-	-	-	-
	ΔtReakcji [s]	-	-	-	-	-
320 s	SpO2 [%]	-	-	-	-	-
	HR [bpm]	-	-	-	-	-
	ΔtReakcji [s]	-	-	-	-	-

### 5.3.2. Wyniki kolarzy

Tab. 5.2. Tabela wyników kolarzy

	Nr. pacjenta	1	2	3	4	5
Spoczynek	SpO2 [%]	99	99	99	—	—
	HR [bpm]	69	73	59	—	—
	ΔtReakcji [s]	0,90	0,83	1,35	—	—
30 s	SpO2 [%]	99	99	99	—	—
	HR [bpm]	71	77	65	—	—
	ΔtReakcji [s]	0,94	0,91	1,48	—	—
60 s	SpO2 [%]	99	99	99	—	—
	HR [bpm]	77	79	69	—	—
	ΔtReakcji [s]	0,90	0,87	1,39	—	—
120 s	SpO2 [%]	97	98	99	—	—
	HR [bpm]	82	82	97	—	—
	ΔtReakcji [s]	1,01	0,88	1,42	—	—
180 s	SpO2 [%]	93	95	94	—	—
	HR [bpm]	85	97	91	—	—
	ΔtReakcji [s]	1,17	0,94	1,48	—	—
240 s	SpO2 [%]	90	91	89	—	—
	HR [bpm]	87	101	111	—	—
	ΔtReakcji [s]	1,14	1,03	1,58	—	—
320 s	SpO2 [%]	87	86	84	—	—
	HR [bpm]	114	119	117	—	—
	ΔtReakcji [s]	1,22	1,09	1,69	—	—

### 5.3.3. Wyniki himalaistów

Tab. 5.3. Tabela wyników himalaistów

	Nr. pacjenta	1	2	3	4	5
Spoczynek	SpO2 [%]	99	99	99	99	99
	HR [bpm]	75	96	87	71	94
	ΔtReakcji [s]	0,76	0,8	0,79	0,82	1,05
30 s	SpO2 [%]	99	99	99	99	99
	HR [bpm]	81	101	97	78	99
	ΔtReakcji [s]	1,05	0,91	0,95	0,94	1,22
60 s	SpO2 [%]	99	99	99	99	99
	HR [bpm]	100	110	101	92	111
	ΔtReakcji [s]	1,03	0,92	0,92	0,95	1,15
120 s	SpO2 [%]	99	99	99	98	99
	HR [bpm]	106	118	115	96	112
	ΔtReakcji [s]	1,09	0,92	0,95	0,91	1,17
180 s	SpO2 [%]	96	97	99	96	99
	HR [bpm]	104	112	111	98	121
	ΔtReakcji [s]	1,15	0,96	0,95	1,13	1,15
240 s	SpO2 [%]	96	95	96	94	98
	HR [bpm]	120	135	135	96	129
	ΔtReakcji [s]	1,14	1,0	1,03	1,0	1,25
320 s	SpO2 [%]	93	92	95	91	95
	HR [bpm]	143	151	132	126	147
	ΔtReakcji [s]	1,2	0,89	1,09	1,09	1,52



## 6. Analiza Wyników

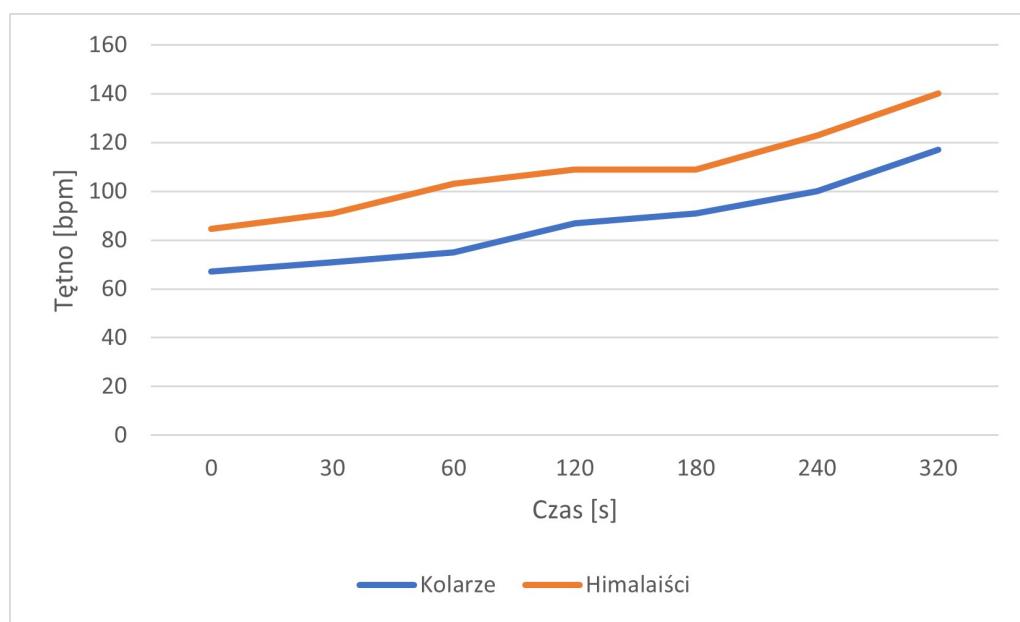
### 6.1. Analiza Wyników Osób Nieaktywnych Fizycznie

Osoby nieaktywne fizycznie, podczas średnio trwającego 90-sekundowego treningu, wykazywały istotne zmiany w parametrach fizjologicznych. Już po 30 sekundach treningu zauważalny był spadek saturacji krwi. Czas reakcji pod koniec treningu często utrzymywał się na poziomie dwukrotnie wyższym niż w przypadku pomiarów spoczynkowych. Porównując czas reakcji w stanie spoczynku, stwierdzono, że różnice w nim występują już w momencie rozpoczęcia badania. Prawdopodobnie wynika to z zmiany pozycji osoby badanej na mniej komfortową, co może wpływać na szybkość reakcji. Pomimo względnie niewielkiego wzrostu pulsu, co wynikało z ograniczonej wydolności tlenowej i niemożności przejścia do kolejnych etapów czasowych, dane wartości tętna nie są miarodajne i należy je interpretować ostrożnie. Warto zauważyć, że ich organizmy nie miały szansy dostosować się do środowiska o obniżonym poziomie tlenu ze względu na ograniczoną wydolność tlenową. Osoby te manifestowały odczucia znacznego zmęczenia, a z powodu niedostatecznej ilości tlenu doświadczały uczucia osłabienia i przytłoczenia.

### 6.2. Analiza Wyników Kolarzy

Z powodu ograniczeń związanych z liczbą uczestników, grupa kolarzy została zredukowana do zaledwie trzech osób; niemniej jednak uzyskane wyniki dostarczyły istotnych informacji. Wszystkie przebadane osoby w tej grupie dotrwały do końca badania. Spadek saturacji krwi notowano zazwyczaj około 120 sekundy od rozpo-

częcia badania, a szczególną uwagę zwrócono na bardzo szybki spadek saturacji w ostatnich momentach badania. Czas reakcji na początku dynamicznego badania był porównywalny z czasem reakcji mierzonym w okresie spoczynku, co prawdopodobnie wynikało z przyzwyczajenia uczestników do pozycji siedzącej na rowerze. Największe różnice w czasie reakcji odnotowano w końcowych momentach badania. Tętno kolarzy było znacznie niższe w porównaniu do innych badanych grup przez całe badania. Pomimo niskiego pulsu, kolarze nie zgłaszały uczucia zmęczenia, ale zwracali uwagę na odczucie duszenia się w ostatnich chwilach badania, co oznacza, że nie zdążyli dostosować się do tego specyficznego środowiska.

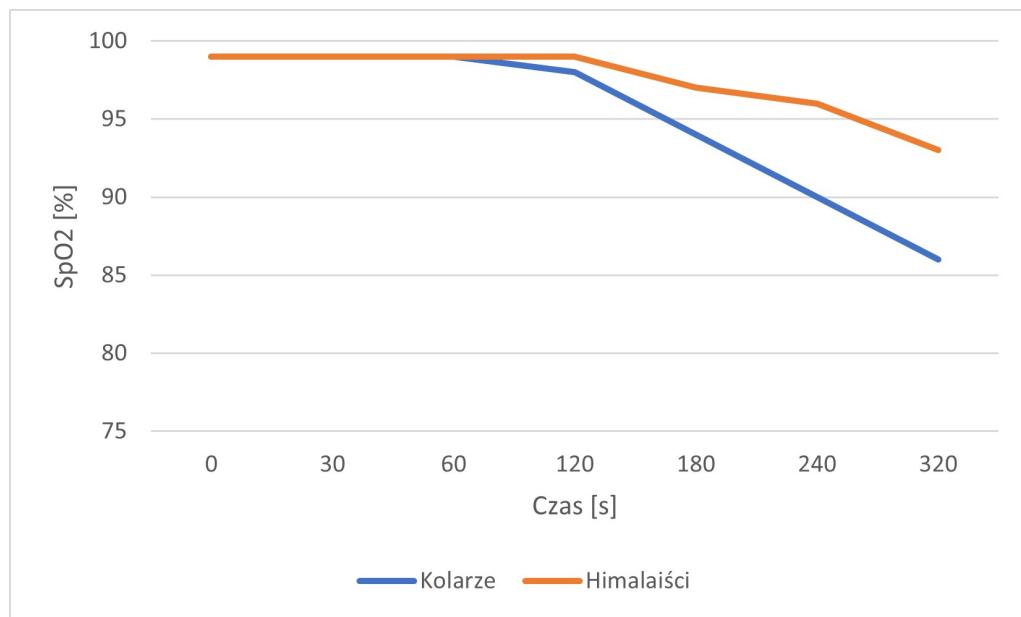


Rys. 6.1. Porównanie zmiany czasowej średniej wartości tętna kolarzy oraz himalaistów podczas badania

### 6.3. Analiza Wyników Himalaistów

Wszyscy przebadani himalaisi dotrzymali do końca badania. Puls tych osób zaczął spadać dopiero w 240. sekundzie badania, a na końcu grupa ta osiągnęła najwyższy poziom saturacji. Największa różnica w czasie reakcji została odnotowana po rozpoczęciu badania, ale podobnie jak w pierwszej grupie, prawdopodobnie wynika to z zmiany pozycji na mniej znaną i komfortową. Wraz z upływem czasu badania czas reakcji stopniowo wzrastał. Tętno bardzo szybko wzrastało wśród prawie wszystkich himalaistów, czasami dochodząc do prawie dwukrotności początkowej wartości. Po

wykonaniu badania osoby przebadane informowały, że najtrudniejszym okresem badania był czas między 180 a 240 sekundą, a w późniejszym okresie badania czuli się lepiej niż w tym czasie, co oznacza, że najlepiej dostosowali się do środowiska spośród wszystkich grup.



Rys. 6.2. Porównanie zmiany czasowej średniej wartości saturacji kolarzy oraz himalaistów podczas badania

## 6.4. Analiza Całościowa

Osoby nieaktywne fizycznie wykazały się największą podatnością na przygotowane środowisko, co może wynikać z mniejszej tolerancji na wysiłek. Kolarze, dzięki niskiemu tężniu i przygotowania do wykonywanego ćwiczenia, prezentowali bardziej efektywne dostosowanie do środowiska. Himalańscy osiągnęli najlepsze wyniki w saturacji krwi i utrzymywali stabilność czasu reakcji, co może sugerować ich wysoką adaptacyjność do warunków ekstremalnych.

W celu bardziej szczegółowego zrozumienia różnic między grupami himalaistów, a koalrzy w zakresie saturacji krwi, przeprowadzono test t-Studenta. Wynik testu wyniósł  $p = 0,004344$ . Uzyskana  $p$ -wartość jest poniżej standardowego poziomu istotności statystycznej 0,05. Oznacza to, że istnieją statystycznie istotne różnice w saturacji krwi między badanymi grupami. Odrzucenie hipotezy zerowej sugeruje, że różnice te nie są wynikiem przypadku, ale są bardziej związane z rzeczywistymi różnicami w badanych parametrach.



## 7. Wnioski

### 7.1. Implikacje dla dziedziny medycyny sportowej i rehabilitacji

Implikacje dla dziedziny medycyny sportowej i rehabilitacji stanowią istotną część wyników uzyskanych w ramach przeprowadzonych badań nad parametrami fizjologicznymi w różnych grupach uczestników. Otrzymane wyniki posiadają potencjał do przyczynienia się do rozwinięcia praktyki medycznej w dziedzinie sportu i rehabilitacji.

- Dostosowanie Programów Treningowych: Na podstawie uzyskanych wyników możliwe będzie dostosowanie programów treningowych w zależności od grupy docelowej. Osoby nieaktywne fizycznie, kolarze i himalaiści mogą korzystać z dedykowanych planów treningowych, uwzględniających indywidualne cechy fizjologiczne.
- Źródło Wiedzy dla Specjalistów: Wyniki badania staną się źródłem cennych informacji dla specjalistów z dziedziny medycyny sportowej i rehabilitacji. Publikacja uzyskanych wyników umożliwi lekarzom, fizjoterapeutom i trenerom korzystanie z aktualnej wiedzy, aby lepiej wspierać swoich pacjentów w osiąganiu zdrowia i celów sportowych.
- Optymalizacja Procesu Rehabilitacji: Dla dziedziny rehabilitacji, wyniki badania mogą dostarczyć informacji na temat wpływu aktywności fizycznej na proces rekonwalescencji. Identifikacja różnic pomiędzy grupami może pomóc w optymalizacji procesów rehabilitacyjnych dla osób aktywnych oraz tych, które

dopiero rozpoczynają aktywność fizyczną.

- Nowe Technologie w Pomiarze Czasu Reakcji: Przedstawione badania otwierają również pole do wprowadzenia nowoczesnych technologii w pomiarze czasu reakcji. Wykorzystanie nowego oprogramowania może znacząco usprawnić dokładność i precyzję pomiarów.

## 7.2. Wnioski z uzyskanych wyników

Każda grupa wykazywała unikalne odpowiedzi fizjologiczne na specyficzne przygotowane środowisko, co sugeruje, że adaptacja organizmu zależy od poziomu aktywności fizycznej i doświadczenia środowiskowego. Wyniki te mogą mieć implikacje dla treningu sportowego, medycyny i dostosowania się organizmu do różnych warunków środowiskowych. Dalsze badania z większą liczbą uczestników są zalecane, aby bardziej szczegółowo zrozumieć te różnice i potwierdzić obserwowane tendencje.

## 7.3. Propozycje dalszych badań

Badania naukowe to dynamiczny proces, który wymaga ciągłego rozwijania i eksplorowania nowych obszarów. Przedstawiono sugestie dotyczące kontynuacji i pogłębienia analiz związanych z omawianą tematyką, w celu wyznaczenie kierunków, w jakich można rozwijać badania oraz zgłębianie tych zagadnień.

### 7.3.1. Rozszerzenie próby badawczej

Rozszerzenie próby badawczej o większą liczbę uczestników stanowiłoby kluczowy krok w kierunku uzyskania bardziej reprezentatywnych i pewnych wyników. Obecna próba obejmująca osoby nieaktywne fizycznie, kolarzy i himalaistów stanowi solidne podstawy, ale zwiększenie liczby uczestników pozwoliłoby na bardziej precyzyjne analizy porównawcze oraz lepsze zrozumienie różnic między poszczególnymi grupami.

Zwiększoną liczbą uczestników umożliwiłaby również dokładniejszą analizę zróżnicowania w obrębie każdej grupy, co jest istotne ze względu na indywidualne cechy fizjologiczne i poziom aktywności. Takie podejście przyczyniłoby się do bardziej wiarygodnych wniosków dotyczących wpływu aktywności fizycznej na parametry fizjologiczne.

Dodatkowo, rozszerzenie próby badawczej stanowiłoby solidne podstawy do przeprowadzenia analizy statystycznej, co wpłynęłoby na siłę dowodową uzyskanych wyników. Otrzymane dane mogą posłużyć do identyfikacji ewentualnych trendów oraz wykrycia subtelnych różnic między poszczególnymi grupami uczestników.

### 7.3.2. Badania w środowisku hipoksyjnym

Środowisko hipoksyjne to warunki atmosferyczne, w których poziom tlenu jest znacznie niższy niż w warunkach normoksji [12], czyli standardowego poziomu tlenu na poziomie morza. Hipoksja może występować naturalnie w wysokich górach, na dużych głębokościach pod wodą, a także sztucznie, np. w komorach hipoksycznych, które są wykorzystywane do symulacji warunków wysokogórskich.

Celem badania byłoby Badanie wpływu hipoksemii na parametry zdrowotne podczas ćwiczeń na rowerku stacjonarnym, w celu określenia czy niski poziom tlenu wpływa na parametry zdrowotne w trakcie aktywności fizycznej. Wyniki mogą dostarczyć informacji na temat adaptacji organizmu do warunków hipoksji i ewentualnych korzyści zdrowotnych lub ryzyka.



## 8. Podsumowanie

### 8.1. Rekapitulacja celów i osiągnięć pracy

W niniejszej pracy głównym celem było opracowanie, implementacja i kompleksowa analiza aplikacji mobilnej oraz układu pomiarowego, skoncentrowanych na monitorowaniu czasu reakcji, saturacji krwi i fali tętna. Praca miała na celu wykorzystanie zaawansowanych technologii w dziedzinie inżynierii biomedycznej w celu dostarczenia precyzyjnych narzędzi do pomiaru i analizy parametrów fizjologicznych.

Przeprowadzenie badań na trzech różnych grupach pacjentów, tj. osób nieaktywnych fizycznie, kolarzach oraz himalaistach, było kluczowym elementem projektu. Analiza czasu reakcji skupiała się na zrozumieniu wpływu różnego stopnia aktywności fizycznej na szybkość reakcji organizmu na bodźce. Jednocześnie, monitorowanie saturacji krwi i fali tętna miało na celu ocenę adaptacji układu krążenia wynikającej z obniżonego poziomu tlenu we krwi.

W ramach osiągnięć pracy:

- Została stworzona aplikacja mobilna, która umożliwia precyzyjny pomiar czasu reakcji.
- Wykonano wygodną rękawicę wyposażoną w układ pomiarowy umożliwiający ciągłe monitorowanie pulsu oraz saturacji badanej osoby.
- Przeprowadzono badania na trzech grupach pacjentów, co pozwoliło na analizę wpływu aktywności fizycznej na parametry fizjologiczne.
- Wykorzystano wiele zaawansowanych technologii do efektywnej implementacji i zarządzania projektem.



# Bibliografia

- [1] Gerard FA Jansen, Budda Basnyat. Brain blood flow in Andean and Himalayan high-altitude populations: evidence of different traits for the same environmental constraint. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3049524>, 2010.
- [2] Florina Muntenescu. Android Architecture Patterns Part 2: Model-View-Presenter. <https://medium.com/upday-devs/android-architecture-patterns-part-2-model-view-presenter-8a6faaae14a5>, 2016.
- [3] [https://pl.aliexpress.com/item/1005002976480289.html?spm=a2g0o.order\\_list.order\\_list\\_main.34.462c1c249SmMPK&gatewayAdapt=glo2pol](https://pl.aliexpress.com/item/1005002976480289.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.34.462c1c249SmMPK&gatewayAdapt=glo2pol).
- [4] Dokumentacja techniczna czujnika MAX30102. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/max30102.pdf>.
- [5] Aylin Woodward, Ashley Collman, Maiya Focht. What happens to your body in Mount Everest's 'death zone'. <https://www.businessinsider.com/mount-everest-death-zone-what-happens-to-body-2019-5?IR=T>, 2023.
- [6] Jun Ke, Lei Wang, Daliao Xiao. Cardiovascular Adaptation to High-Altitude Hypoxia. <https://www.intechopen.com/chapters/52428>, 2016.

- [7] Dünnwald Tobias, Kienast Roland, Niederseer David, Burtscher Martin. The Use of Pulse Oximetry in the Assessment of Acclimatization to High Altitude. [https://web.archive.org/web/20220518010147id\\_/https://www.zora.uzh.ch/id/eprint/216125/1/sensors-21-01263-v2.pdf](https://web.archive.org/web/20220518010147id_/https://www.zora.uzh.ch/id/eprint/216125/1/sensors-21-01263-v2.pdf), 2021.
- [8] Ashok Kumar. Mastering Firebase for Android Development. Packt Publishing Limited, 2018.
- [9] Szymon Chmielewski. Reflex-App-Java-Firebase. <https://github.com/SzymOnion/Reflex-App-Java-Firebase>, 2023.
- [10] Thomas Todd. The Art of Software Testing. John Wiley and Sons AND Sons LTD, 2004.
- [11] Massimo Banzi Michael Shiloh. Getting Started with Arduino 4e. O'Reilly Media, Inc, USA, 2022.
- [12] Constantini Keren, Bouillet Anna, Wiggins Chad, Martin Bruce, Chapman Robert. Ventilatory Responsiveness during Exercise and Performance Impairment in Acute Hypoxia. [https://journals.lww.com/acsm-msse/fulltext/2021/02000/ventilatory\\_responsiveness\\_during\\_exercise\\_and\\_6.aspx](https://journals.lww.com/acsm-msse/fulltext/2021/02000/ventilatory_responsiveness_during_exercise_and_6.aspx), 2021.

## A. Podziękowania

Chciałbym serdecznie podziękować Politechnice Śląskiej za ogólne wsparcie udzielone podczas tworzenia niniejszej pracy inżynierskiej. Szczególne słowa wdzięczności kieruję w stronę mojego promotora, Dr hab. inż. Pawła Kostki, za nieoceniony czas, pełne zaangażowanie oraz nieustanne wsparcie w rozwiązywaniu problemów i prowadzeniu badań.

Dodatkowo, serdeczne podziękowania kieruję do każdej osoby, która poświęciła swój cenny czas i wyraziła chęć uczestnictwa w przeprowadzonych badaniach. Wasze zaangażowanie było kluczowe dla osiągnięcia celów tej pracy.



## B. Wykaz użytego oprogramowania

Poniżej przedstawiam wykaz licencji użytego oprogramowania:

- Oracle Binary Code License Agreement
- GNU Lesser General Public License
- Apache License 2.0
- MIT (Massachusetts Institute of Technology)
- Autodesk Educational Subscription

