

## SYSTEM POMIAROWY DO URZĄDZENIA TYPU STEPPER DEDYKOWANY DO PRÓB WYSIŁKOWYCH

Anna GOLIJANEK-JĘDRZEJCZYK<sup>1</sup>, Marcin OGIELSKI<sup>2</sup>, Leszek RAFIŃSKI<sup>3</sup>

1. Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki  
tel.: 58-347-17-78 e-mail: anna.golijanek-jedrzejczyk@pg.gda.pl
2. Gdańska Stocznia „REMONTOWA” im. J. Piłsudskiego S.A.  
tel.: 609-940-516 e-mail: marcin.ogielski@wp.pl
3. Awis Sp. z o.o.  
tel.: 606-546-798 e-mail: leszek.rafinski@gmail.com

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono system pomiarowy opracowany do urządzenia typu stepper, umożliwiającego przeprowadzenie próby wysiłkowej zgodnie z testem Astrand'a-Ryhminga. Budowa prototypu systemu pomiarowego wymagała modyfikacji mechanicznej urządzenia typu stepper udostępnionego przez Akademię Wychowania Fizycznego i Sportu w Gdańsku oraz doboru części sprzętowej systemu pomiarowego (czujników, mikrokontrolera). Celem projektu było również wykonanie oprogramowania umożliwiającego rejestrację i wizualizację wyników pomiarowych oraz wyznaczenie parametrów stosowanych do oceny wydolności organizmu człowieka. W artykule zaprezentowano wyniki z przeprowadzonych testów potwierdzające poprawność opracowanego systemu pomiarowego.

**Słowa kluczowe:** system pomiarowy, próby wysiłkowe, test Astrand'a - Ryhming'a.

### 1. WPROWADZENIE

Test wysiłkowy pozwala zbadać wydolność fizyczną organizmu człowieka. Służy on do oszacowania możliwości fizycznych sportowców i oceny funkcji organizmu [1-3]. Test taki może służyć do dostosowania treningu indywidualnego w zależności od możliwości wysiłkowych badanej osoby lub też do oceny poprawy wydolności.

W celu wyznaczenia parametrów stosowanych do oceny wydolności człowieka wykorzystywane są urządzenia typu: cykloergometr, bieżnia ruchowa czy też stepper (stopień). Urządzenia te umożliwiają przeprowadzenie testu wysiłkowego.

Wydolność organizmu jest oceniana na podstawie pomiaru maksymalnego poboru tlenu  $VO_{2max}$  oraz pomiaru częstości skurczów serca (HR). Pułap tlenowy  $VO_{2max}$  to jeden z podstawowych wskaźników „funkcji zaopatrzenia tlenowego, jest to maksymalna ilość tlenu, która może być pobrana podczas wysiłku maksymalnego z powietrza atmosferycznego i przetransportowana z pęcherzyków płucnych do mięśni” [1]. Parametry te np. w warunkach szpitalnych są wyznaczane na podstawie pomiarów wykonywanych za pomocą specjalistycznej aparatury medycznej. Opracowano różne testy (m.in. Test PWC<sub>170</sub>, Test Ruffiera, Test Astrand'a - Ryhming'a [1]), które umożliwiają wyznaczenie wspomnianych, parametrów bez konieczności stosowania specjalistycznej aparatury medycznej.

Prezentowany w niniejszym artykule system pomiarowy pozwala na ocenę wydolności organizmu człowieka zgodnie z testem Astrand'a-Ryhminga.

Do przeprowadzenia testu wymagany jest stopień, o wysokości 30 cm i 40 cm, odpowiednio dla kobiet i mężczyzn, stoper oraz metronom. Częstotliwość metronomu ustawiana jest na 90 ud/min; czas trwania ćwiczenia wynosi około 5 min, zarówno dla kobiet jak i mężczyzn. Podczas testu badany wchodzi na stepper 22,5 razy w ciągu jednej minuty. Jeden cykl trwa ponad 2 s, cykl wykonywany jest zgodnie z sygnałem metronomu.

Przy pierwszym uderzeniu pacjent stawia lewą stopę na stopniu, następnie dostawia drugą stopę, jednocześnie prostując nogi w stawach kolanowych i biodrowych. Podczas trzeciego uderzenia metronomu, pacjent stawia lewą stopę na niższym stopniu, a następnie dostawia prawą stopę do lewej. Pod koniec testu wysiłkowego mierzone jest tętno osoby badanej. Różnica ostatnich trzech odczytów tętna dokonywanych co 30 s nie powinna się zmieniać o więcej niż 2-3 uderzenia.

W teście tym parametr  $VO_{2max}$  jest obliczany na podstawie wartości częstości serca przy pracy submaksymalnej wg empirycznie wyznaczonej zależności [5]:

$$\text{Mężczyźni} \quad VO_{2max} = 111,33 - (0,42 HR_{sr}) \quad (1)$$

$$\text{Kobiety} \quad VO_{2max} = 65,81 - (0,19 HR_{sr}) \quad (2)$$

gdzie:

$HR_{sr}$  - średnia z trzech pomiarów tętna osoby badanej [ud/min].

Zaletą tego testu jest to, że jego przeprowadzenie nie wymaga specjalistycznych urządzeń. Celem projektu była budowa systemu pomiarowego umożliwiającego przeprowadzenie próby wysiłkowej zgodnie z testem Astrand'a-Ryhminga oraz wizualizację i archiwizację uzyskanych wyników pomiarowych [6].

### 2. URZĄDZENIE STEPPER

Urządzenie stepper'a zostało dostarczone przez Akademię Wychowania Fizycznego i Sportu (AWFiS) w Gdańsku (rys. 1). Urządzenie zbudowane jest tak,

że możliwa jest regulacja położenia górnej platformy za pomocą mechanicznego lewara, w zakresie od 30 cm do 50 cm względem dolnej. Stopień posiada na górnej platformie cztery środkowe deski, które są zamocowane na sprężynach i umożliwiają one ugięcie desek na skutek przyłożonej siły. Stopień ugięcia tych desek będzie wielkością mierzoną przez system w celu detekcji prawidłowej rytmiki kroków osoby poddanej temu testowi.



Rys. 1. Stepper

W celu usytuowania czujników pomiarowych wykrywających nacisk na stopień należało zmodyfikować konstrukcję o ramę z belkami pomiarowymi.

Przyjęto, że:

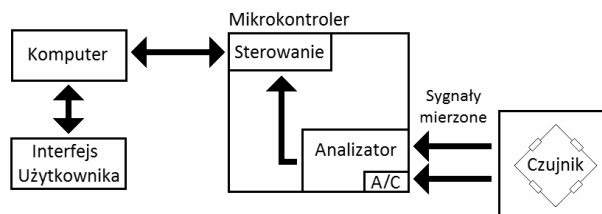
- belki o długości 20 cm zamocowane są z jednej strony nieruchomo (maksymalna możliwa długość wynikająca z konstrukcji urządzenia),
- maksymalna masa użytkownika jest równa 100 kg (stepper ten wykorzystywany jest w AWFis do prób wysiłkowych dzieci),
- przyspieszenie grawitacyjne wynosi  $9,81 \text{ m/s}^2$ ,
- dopuszczalne naprężenie stali konstrukcyjnej wynosi 390 MPa,
- wskaźnik bezpieczeństwa równy 1,5.

Po przeprowadzeniu stosownych analiz mechanicznych i obliczeń, belki pomiarowe wykonano z płaskowników stali konstrukcyjnej, o przekroju  $45 \times 10$  i długości 200 mm, w rozstawie 290 mm.

### 3. ZAPROJEKTOWANY SYSTEM POMIAROWY

Schemat blokowy zaprojektowanego systemu pomiarowego został przedstawiony na rysunku 2. System ten składa się z czujnika (dokładniej z dwóch takich samych czujników nacisku, jednego dla lewej a drugiego dla prawej belki pomiarowej), który generuje sygnał napięciowy w zależności od przyłożonego obciążenia. Sygnał ten następnie wysyłany jest do przetwornika A/C wbudowanego w mikrokontroler. Na podstawie sygnału z czujnika, algorytm zaimplementowany w sterowniku analizuje go i wysyła informację do komputera klasy PC.

Komunikacja odbywa się za pomocą uniwersalnej magistrali szeregowej USB.



Rys. 2. Schemat blokowy systemu pomiarowego [6]

Na komputerze znajduje się specjalistyczne oprogramowanie, które pozwala na wizualizację danych otrzymanych z mikrokontrolera, a także pozwala na przeprowadzenie bieżącej analizy parametrów związanych z próbą wysiłkową.

#### 3.1. Czujnik

Rolę czujnika nacisku stopnia steppera pełnią cztery tensometry foliowe naklejone na belce pomiarowej, które stanowią elementy mostka Wheatstone'a. Wykorzystano tensometry o rezystancji równej  $120 \Omega$ . Maksymalny błąd pomiarowy rezystancji tensometru to  $\pm 0,2\%$ .

#### 3.2. Wzmacniacz pomiarowy INA125P

W celu wzmocnienia sygnału wyjściowego z mostka tensometrycznego użyto wzmacniacza pomiarowego INA125P firmy Burr-Brown z regulowaną wartością wzmocnienia [6].

W zaprojektowanym systemie dobrano wzmocnienie na poziomie 1000 V/V z uwagi na zaobserwowaną zmianę różnicy napięć z wyjścia mostka w zakresie od 0 - 2,5 mV.

#### 3.3. Mikrokontroler

Rolę mikrokontrolera w projektowanym systemie pomiarowym pełni Arduino. Jest to otwarta platforma sprzętowa wraz ze środowiskiem programowania, co umożliwia łatwy dostęp do dokumentacji technicznej.

Zastosowana wersja zawiera 14 wyprowadzeń pinów wejść/wyjść cyfrowych mikrokontrolera, z czego 6 wyjść może działać w trybie PWM. 6 wejść działa w trybie wejść analogowych, które są zazwyczaj używane do pomiaru napięcia w zakresie 0 - 5 V [4]. Istnieje możliwość zmiany zakresu napięcia poprzez podanie napięcia odniesienia na odpowiedni pin.

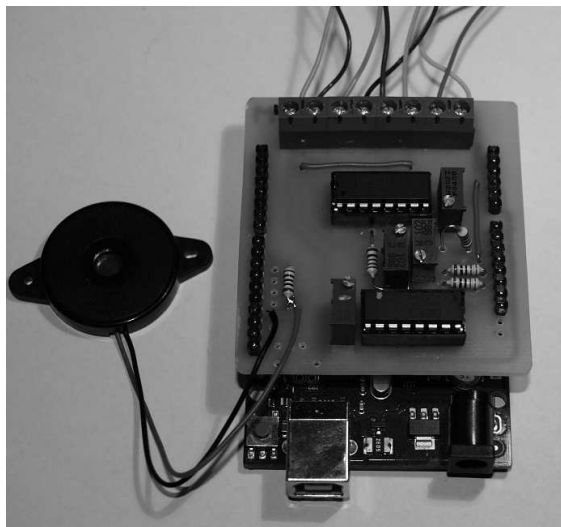
Platforma posiada 10-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy. Obciążalność prądowa, każdego pinu pracującego jako wyjście wynosi 40 mA. Układ ATmega 328 posiada 32 kB pamięci Flash, 2 kB pamięci SRAM oraz 1 kB pamięci EEPROM. Taktowanie zegara platformy wynosi 16 MHz.

W ramach realizacji projektu konieczne było napisanie programu realizującego obsługę portów wejściowych i wyjściowych mikrokontrolera. Do jego wejść analogowych podłączono wzmocniony sygnał wyjściowy z mostka Wheatstone'a. Program zapewnia obustronną komunikację pomiędzy mikrokontrolerem a komputerem.

Zaprojektowano także drugą aplikację, której celem był odbiór i wysyłanie komunikatów do mikrokontrolera. Jest to program nadrzędny, dzięki któremu możliwe jest otwarcie portu szeregowego i ustawienie parametrów związanych z odczytywanymi danymi, takich jak: częstotliwość próbkowania odbieranego sygnału pomiarowego oraz ustawianie wypełnienia sygnału podawanego na pin wyjściowy PWM.

Aplikacja umożliwia wyświetlenie wyznaczonych parametrów związanych z teorią wydolnościową stosowaną przy teście Astrand'a oraz archiwizację wyników badania [1, 6].

Na rysunku 3 przedstawiono zaprojektowany i wykonany układ elektroniczny.



Rys. 3. Prototyp systemu pomiarowego

Do płytki z układem elektronicznym dołączony jest także przetwornik piezoelektryczny generujący sygnał akustyczny, który pełni rolę metronomu.

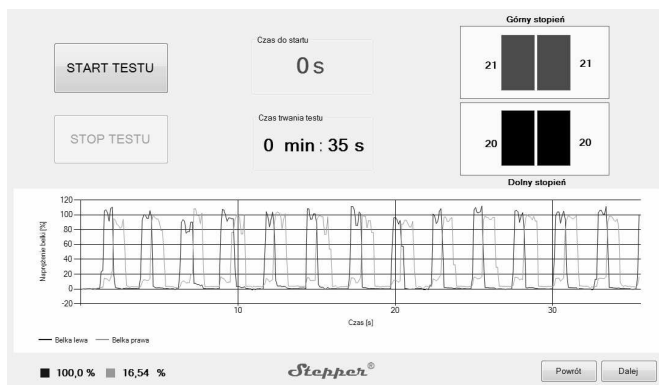
#### 4. APLIKACJA STEPPER

Aplikacja Stepper została zaprojektowana w języku C# za pomocą środowiska Microsoft Visual Studio 2010, gdyż jest to stosunkowo proste narzędzie do opracowywania użytecznego interfejsu użytkownika.

Interfejs aplikacji Stepper ma cztery następujące po sobie okna, a przechodzenie między nimi jest możliwe dzięki przyciskom *Dalej* i *Powrót*.

W pierwszym panelu użytkownik może skonfigurować najpierw parametry sprzętowe takie jak: czas próbkowania pomiaru oraz częstotliwość pracy metronomu, a następnie wybrać atrybuty testu, czyli wysokość stopnia oraz czas trwania testu wysiłkowego. Możliwe jest również wprowadzenie danych osobowych badanej osoby takich jak: imię i nazwisko, masa ciała, wiek oraz płeć.

Drugie okno aplikacji Stepper (rys. 4) jest głównym ekranem widocznym podczas przeprowadzania testu.



Rys. 4. Główne okno aplikacji Stepper

Przycisk *Start Testu* służy do włączenia aplikacji i uruchomienia zegar, natomiast przycisk *Stop Testu* - zatrzymuje rejestrację wykresu i zamyka port szeregowy.

W części centralnej tego okna widoczne są dwa zegary. Czasomierz górny odmierza czas do rozpoczęcia testu po naciśnięciu przycisku *Start Testu*. Zegar drugi odmierza czas trwania testu.

W prawym górnym rogu tego panelu umieszczono graficzny wskaźnik do kontroli położenia stóp osoby wykonującej próbę wysiłkową. Zielony prostokąt informuje o położeniu stopy na stopniu, natomiast czarny prostokąt o jej braku. Program wyświetla także wskazania liczników wejścia oraz zejścia ze stopnia.

W dolnej części okna przedstawiono przebieg reprezentujący wartości chwilowe naprężenia wyrażonego w procentach zakresu pomiarowego dla belki prawej i lewej.

Trzecie okno aplikacji prezentuje wyniki wyznaczone na podstawie przeprowadzonego testu (rys. 5).



Rys. 5. Okno z wynikami

W górnej części tego panelu umieszczone są parametry takie jak: tętno, tempo (wartości zakładanego oraz rzeczywistego tempa wykonywanego testu) oraz przycisk *Przelicz*, po naciśnięciu którego program ponownie oblicza wartości parametrów dla aktualnych danych.

W centralnej części tego okna przedstawiono wyniki uczestnika testu takie jak: maksymalny pułap tlenowy  $VO_{2max}$ , pracę całkowitą wykonaną na urządzeniu oraz moc całkowitą.

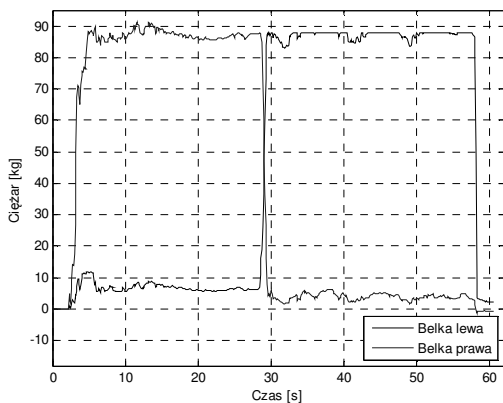
W dolnej części tego ekranu umieszczono 3 przyciski: - *Zapisz Raport* - służy do zapisania danych związanych z testem na dysku twardym komputera (dane zapisywane są w dwóch formatach: pdf oraz arkusza kalkulacyjnego). - *Wykresy* - naciśnięcie tego przycisku powoduje przejście do ostatniego ekranu, na którym prezentowane są przebiegi naprężenia belki w funkcji czasu. Charakterystyki te umożliwiają dokładniejszą analizę przebiegu testu w porównaniu z wykresem znajdującym się w drugim oknie. - *Nowy test* - naciśnięcie tego przycisku powoduje przejście do ekranu pierwszego, gdzie można zdefiniować parametry do przeprowadzenia następnego testu.

#### 5. TESTY SYSTEMU POMIAROWEGO

Zbudowany system pomiarowy testowano zarówno w fazie projektowania, jak i po zakończeniu jego budowy. Sprawdzono zarówno poprawność wskazań, jak i użyteczność oraz intuicyjność interfejsu użytkownika.

Na rysunku 6 przedstawiono przykładowy wynik testowania systemu pomiarowego.

Rysunek ten prezentuje przebieg nacisku na belki pomiarowe pod wpływem obciążenia równego 86,4 kg.



Rys. 6. Wykres przedstawiający zmianę obciążenia w czasie

Testy systemu pomiarowego polegały na umieszczeniu znanego obciążenia na stopniu steppera i rejestracji sygnału wyjściowego z mostka tensometrycznego. Porównywano znaną wartość obciążenia z pomiarem odczytanym w aplikacji. Przeprowadzone testy urządzenia potwierdziły, że uzyskany błąd względny pomiaru obciążenia nie przekraczał 3%.

## 5. WNIOSKI KOŃCOWE

W artykule przedstawiono wykonany system pomiarowy dla urządzenia typu stepper dedykowanego do prób wysiłkowych. Obiekt, dla którego został wykonany system pomiarowy został udostępniony przez Akademię Wychowania Fizycznego i Sportu w Gdańsku. Jest to urządzenie o solidnej konstrukcji składające się z dwóch platform: górnej i dolnej. Urządzenie umożliwia przeprowadzenie testu Astrand'a - Rhythming'a i pozwala na wyznaczenie parametrów związanych z wydolnością ludzkiego organizmu.

Wykonanie prototypu systemu pomiarowego polegało na modyfikacji mechanicznej dostępnego urządzenia,

dobrze odpowiednich czujników pomiarowych, wykonaniu modułu elektroniki obsługującej czujniki oraz zapewniającej możliwość komunikacji z komputerem, zaprogramowaniu mikrokontrolera oraz wykonaniu użytecznego interfejsu użytkownika. Zaprojektowana aplikacja umożliwia rejestrację, wizualizację i podgląd na bieżąco wyników testu wysiłkowego. Umożliwia ona wprowadzenie i archiwizację podstawowych danych osobowych oraz wyznaczenie parametrów wydolnościowych, na podstawie wykonanego ćwiczenia oraz masy ciała i mierzonego tętna osoby badanej. Urządzenia tego typu mogą służyć w celu poprawy kondycji fizycznej człowieka i kontroli stanu zdrowia.

## 6. BIBLIOGRAFIA

1. Fortuna M.: Podstawy kształtowania i kontroli zdolności wysiłkowej tlenowej i beztlenowej, Jelenia Góra 2008.
2. Dotan R., Mitchell C., Cohen R., Klentrou P., Gabriel D., and Falk B.: Child-Adult Differences in Muscle Activation - a Review, *Pediatr Exerc Sci*, 2012, 24, pp. 2-21.
3. Łuszczuk M., Kujach S., Olek R. A., Laskowski R., and Szczęsna-Kaczmarek A.: Prefrontal cortex oxygenation and muscle oxygenation during incremental exercise in children: A near-infrared spectroscopy study, in: Armsrton N, Williams C (eds.) *Children and Exercise XXVI*, Oxford: Routledge, 2012, pp. 83-89.
4. Traczyk W. Z.: *Fizjologia człowieka w zarysie*, PZWL, Warszawa 2013.
5. Górski J.: *Fizjologiczne podstawy wysiłku fizycznego*, PZWL, Warszawa 2006.
6. Ogielski M.: System pomiarowy do urządzenia typu stepper dedykowany do prób wysiłkowych, Praca magisterska, Opiekun dr inż. Anna Golijanek-Jędrzejczyk, Politechnika Gdańska, 2015.

## A MEASUREMENT SYSTEM FOR A STEPPER DEVICE FOR THE PURPOSE OF ENDURANCE TESTING

This paper presents the design and construction of the measurement system for a stepper device, for the purpose of executing endurance tests in accordance with Astrand'a - Rhythming submaximal test. Astrand'a - Rhythming submaximal test is the most widely used indirect method in determining parameter  $VO_{2max}$ , which is determined by the heart rate at submaximal work. This test requires the stepper with a height of 30 cm and 40 cm (respectively for women and men) a stopwatch and a metronome. The metronome frequency is set at 90 beats per minute. The exercise time is about 5 minutes.

The construction of the prototype measurement system required a mechanical modification of the stepper device provided by the Gdańsk University of Physical Education and Sport as well as designing the hardware part of the measurement system (sensors, electronics, microcontroller). A specialized software that enables registration and visualization of test results was also made.

The paper presents test results to confirm the correctness of the designed system.

**Keywords:** measurement system, maximal oxygen uptake, Astrand - Rhythming submaximal test.