

## Budowa platformy posturograficznej na bazie mikrokomputera Raspberry Pi – prototyp mobilnego urządzenia rehabilitacyjnego

Zakup profesjonalnej platformy posturograficznej to nakład finansowy rzędu kilku tysięcy złotych. Alternatywą może być platforma własnoręcznie zbudowana na bazie mikrokomputera Raspberry Pi oraz przetwornika MCP3424. Co więcej, dzięki złączu HDMI i wbudowanej karcie WLAN bardzo łatwe stają się wyświetlanie posturogramów oraz archiwizacja pomiarów bez użycia dodatkowego komputera.

Posturografia jest badaniem polegającym na pomiarze siły nacisku na podłoże, przy czym można je wykonać w funkcji statycznej lub dynamicznej. W posturografii wyznacza się położenie środka nacisku stóp – COP (*center of foot pressure*), a wynik przedstawia się w postaci dwóch wykresów: statokineziogramu oraz stabilogramu (rys. 1). Statokineziogram przedstawia ruch centrum nacisku w układzie (x,y), gdzie x to oś lewo-prawo, a y – oś przód-tył. Stabilogram obrazuje położenie centrum nacisku, ruch w osi lewo-prawo oraz ruch w osi przód-tył – jako osobne funkcje czasu.

Ćwiczenia oparte na posturografii znajdują szerokie zastosowanie w rehabilitacji osób ze schorzeniami neurologicznymi (zwłaszcza po udarach

mózgu) [1,2] oraz po zabiegach ortopedycznych (głównie po zabiegach w obrębie stawu kolanowego – np. po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego).

Dotychczas poza standardowymi komercyjnymi platformami wiele firm i zespołów próbowało z dobrym skutkiem zaadaptować platformę balansową Wii Balance Board (obecnie nie jest już ona produkowana ani wspierana) firmy Nintendo [3–5]. Na jej bazie powstały m.in. takie projekty, jak: HomeBalance w Czechach ([www.homebalance.cz](http://www.homebalance.cz)) [6], NeuroForma w Polsce ([www.neuroforma.pl](http://www.neuroforma.pl)), a także FysioMeter w Danii ([www.fysiometer.com](http://www.fysiometer.com)) [7], czy STABLE w Niemczech ([www.pro-wiss.de](http://www.pro-wiss.de)) [8].

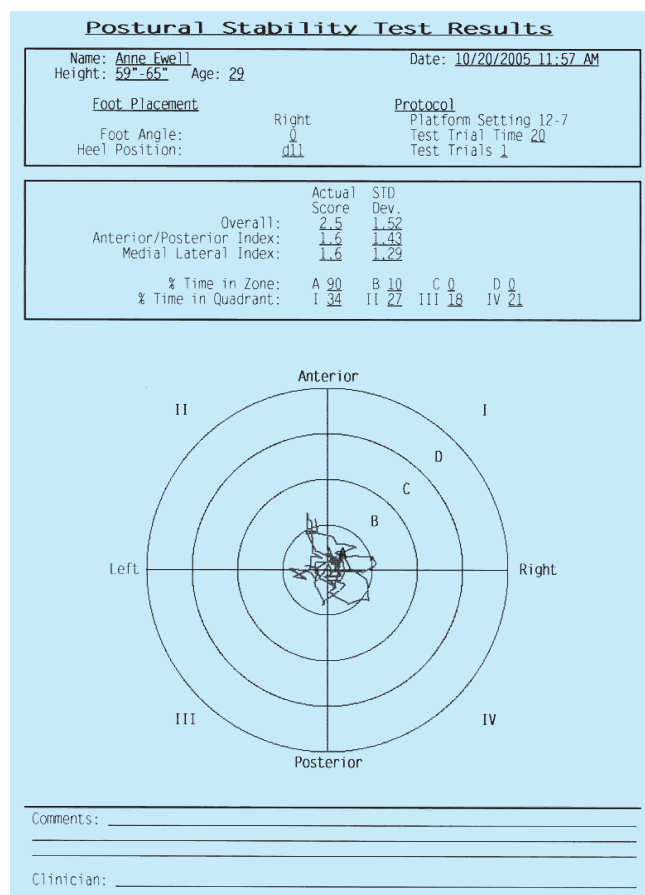
W każdej z tych aplikacji wymagany jest dodatkowy zewnętrzny komputer.

Aby pójść krok dalej, należałoby stworzyć od podstaw platformę z wbudowanym komputerem. W niniejszym artykule przedstawiono główne założenia projektowe i rozwiązania techniczne.

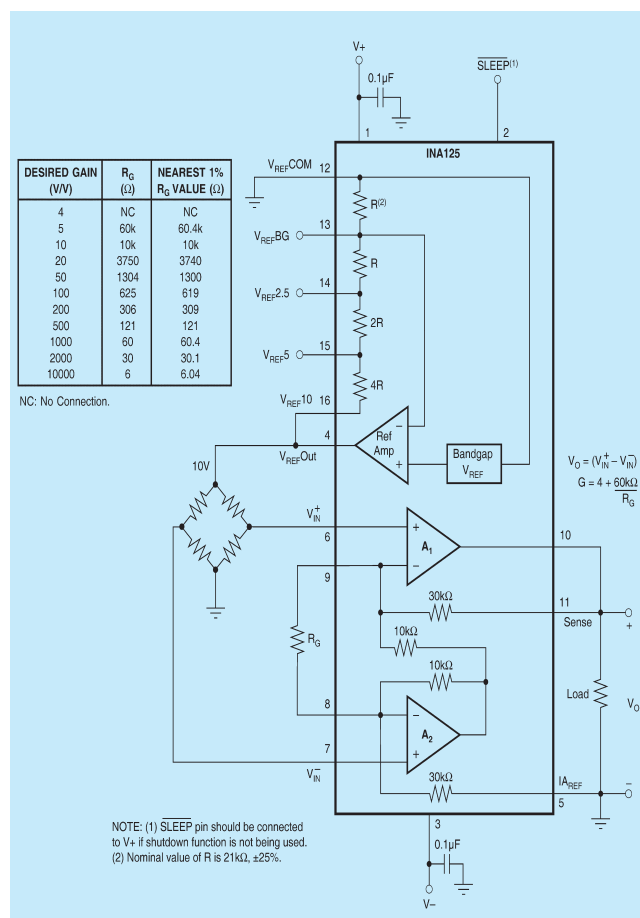
### Prototyp

W stworzonym prototypie wykorzystano cztery czujniki tensometryczne, które podpięto do czterech wzmacniaczy INA125 [9]. Wzmacniacz INA125 (rys. 2) cechuje się niskim poborem mocy oraz zapewnia precyzyjne napięcie referencyjne.

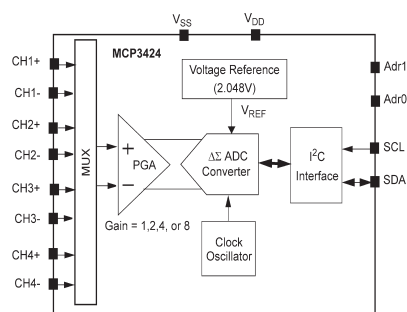
Wzmocnienie sygnału jest możliwe w zakresach od  $\times 4$  do  $\times 10000$  w zależności od opornika podpiętego między ósmym i dziewiątym pinem wzmacniacza.



Rys. 1. Przykładowy stabilogram (źródło: instrukcja obsługi Balance System SD, Biodex Medical Systems Inc)



Rys. 2. Wzmacniacz INA125



Rys. 3. Przetwornik MCP3424

Sygnal z czterech wzmacniaczy INA125 trafia do przetwornika analogowo-cyfrowego MCP3424 (rys. 3). Ten przetwornik zapewnia do 240 odczytów na sekundę z 18-bitową rozdzielczością [10]. Sygnal analogowy jest przetwarzany na sygnał cyfrowy w standardzie I2C, który trafia do wejścia mikrokomputera Raspberry Pi. Standard I2C został opracowany na początku lat 80. przez firmę Philips (obecnie NXP Semiconductors). Wykorzystuje on dwie dwukierunkowe linie: SCL (*serial clock line*) oraz SDA (*serial data line*). Standard I2C jest oparty na logice dodatniej, czyli stan niski odpowiada logicznemu „0”, a wysoki – logicznej „1” [11].

### Oprogramowanie

Dzięki czterem odrębnym wartościom nacisku można zaprezentować w postaci graficznej (jako punkt na środku monitora) aktualne wychylenie pacjenta stojącego na platformie. Pomiar odbywa się w czasie rzeczywistym. Zakres i kierunek wychylenia są przedstawiane jako statokinezygram. Możliwe jest codzienne badanie zdolności zachowywania równowagi przez pacjenta (stojącego na jednej nodze lub obu nogach). Niezwykle cenna jest możliwość porównywania wyników uzyskanych podczas obciążania operowanej kończyny z wynikami dla kończyny zdrowej.

Karta WLAN mikrokomputera Raspberry Pi jest skonfigurowana jako Access Point, co umożliwia zdalne połączenie z danym urządzeniem bez konieczności instalowania na nim oprogramowania. Z platformą posturograficzną można się połączyć za pomocą dowolnego urządzenia wyposażonego w kartę WLAN, np. smartfona, telefonu, tabletu czy laptopa. Aplikacja jest wyświetlana w przeglądarce WWW wybranego urządzenia.

Dwa porty HDMI pozwalają z kolei na podłączenie bezpośrednio do telewizora.

### Ćwiczenia

Urządzenie umożliwia ćwiczenia z tzw. biofeedbackiem, polegające np. na świadomym wychylaniu się w kierunku punktu zmieniającego swoje położenie na monitorze. Wszystkie ćwiczenia pacjenta są rejestrowane, dzięki czemu rehabilitant ma nad nimi kontrolę.

Pacjent wykonuje zestawy ćwiczeń zaprogramowanych przez rehabilitanta. Ich stopień trudności jest modyfikowany.

Kolejny etap prac nad platformą obejmuje tworzenie oprogramowania umożliwiającego zdalną kontrolę nad wykonywanymi ćwiczeniami i ich modyfikację, jednak to wymaga podłączenia mikrokomputera Raspberry Pi do lokalnej sieci WiFi z dostępem do internetu.

### Podsumowanie

Alternatywą dla komercyjnych posturografów będących na wyposażeniu pracowni biomechanicznych mogą być rozwiązania oparte na platformach Nintendo Wii Balance Board lub własne rozwiązania, zbudowane od podstaw. Omówiona w artykule platforma posturograficzna kosztorysowo zamyka się w kwocie ok. 1000÷1500 zł, może być zatem wsparciem dla małych praktyk rehabilitacyjnych. Dzięki niedużym gabarytom urządzenia pacjenci będą mogli je wypożyczać do domu.

Bartosz Kasprzak  
(bartosz.kasprzak@prograf-flexo.pl)

### LITERATURA

- [1] Hung J.W., Yu M.Y., Chang K.C., Lee H.C., Hsieh Y.W., Chen P.C. "Feasibility of using Tetrax biofeedback video games for balance training in patients with chronic hemiplegic stroke". *PM & R*, 8, 10 (2016): 962–970, <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2016.02.009>.
- [2] Siddiqi F.A., Masood T. "Training on Biodex balance system improves balance and mobility in the elderly". *Journal of the Pakistan Medical Association*, 68, 11 (2018): 1655–1659.
- [3] Clark R.A., Mentiplay B.F., Pua Y.H., Bower K.J. "Reliability and validity of the Wii Balance Board for assessment of standing balance: A systematic review". *Gait & Posture*, 61 (2018): 40–54, <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.12.022>.
- [4] Merchant-Borna K., Jones C.M., Janigro M., Wasserman E.B., Clark R.A., Bazarian J.J. "Evaluation of Nintendo Wii Balance Board as a tool for measuring postural stability after sport-related concussion". *Journal of Athletic Training*, 52, 3 (2017): 245–255, <https://doi.org/10.4085/1062-6050-52.1.13>.
- [5] Audiffren J., Contal E. "Preprocessing the Nintendo Wii Board signal to derive more accurate descriptors of statokinesigrams". *Sensors*, 16, 8 (2016): 1208, <https://doi.org/10.3390/s16081208>.
- [6] Tichá M., Janatová M., Bohunčák A., Svozílková P., Sladková P., Hána K., Jefábek J., Angerová Y., Švestková O. "Use of force platform and visual feedback in the therapy of stability disorders". *Turkish Society for Medicine and Rehabilitation. Abstract Proceedings of 12th Congress of EU Forum for Research in Rehabilitation 2013*. Istanbul – Turkey, 2013, 111, ISSN 1302-0234.
- [7] Wilkinson T.J., Nixon D.G.D., Smith A.C. "Postural stability during standing and its association

with physical and cognitive functions in non-dialysis chronic kidney disease patients". *International Urology and Nephrology*, 51, 8 (2019): 1407–1414, <https://doi.org/10.1007/s11255-019-02192-4>.

- [8] Völker I., Kirchner C., Bock O.L., Wascher E. "Body Sway as a Possible Indicator of Fatigue in Clerical Workers". *Safety and Health at Work*, 6, 3 (2015): 206–210, ISSN 2093-7911, <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2015.04.003>.
- [9] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina125.pdf>.
- [10] <http://www1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/22088b.pdf>.
- [11] Mielczarek W. „Szeregowe interfejsy cyfrowe”. Gliwice: Helion, 1993, ISBN 83-85701-23-0. ■