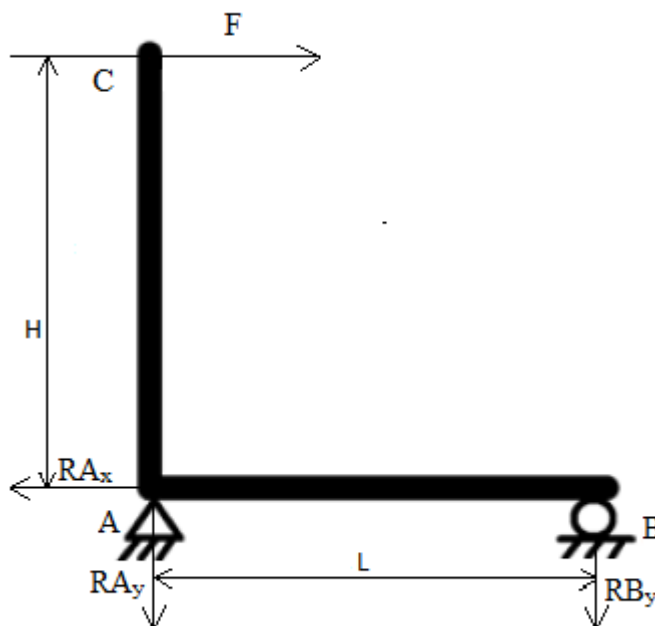


## Automatyczne stanowisko do pomiarów paramentów napędów

W celu doboru odpowiedniego śmigła, jak i również identyfikacji parametrów napędu zbudowana została hamownia automatyczna, która pozwala zbadać uzyskany ciąg napędu. Stanowisko działa na bazie dźwigni dwustronnej pokazanej na rysunku.



Rys.1. Schemat działania dźwigni dwustronnej.

Siła wytwarzana przez zespół napędowy zamontowany w punkcie C wyrażona została za pomocą równania 2.

$$\sum M_A = 0 = -F * H + RB_y * L \quad (1)$$

$$F = \frac{L}{H} * RB_y \quad (2)$$

Gdzie:

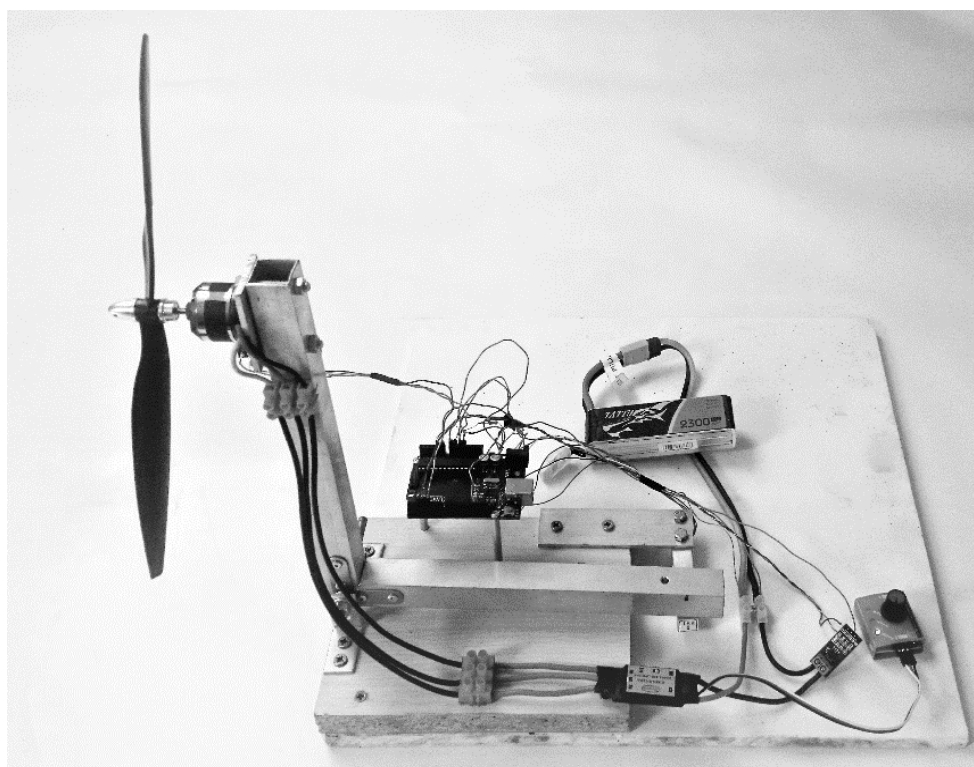
$F$  – siła ciągu napędu

$RB_y$  – Siła odczytywana w punkcie B

$M_A$  – Momenty względem punktu A

Ramiona dźwigni zostały wykonane w stosunku  $L=H$ , więc równanie 2 przyjmuje postać:

$$F = RB_y \quad (3)$$



Rys.3. Automatyczne stanowisko do pomiarów paramentów napędów.

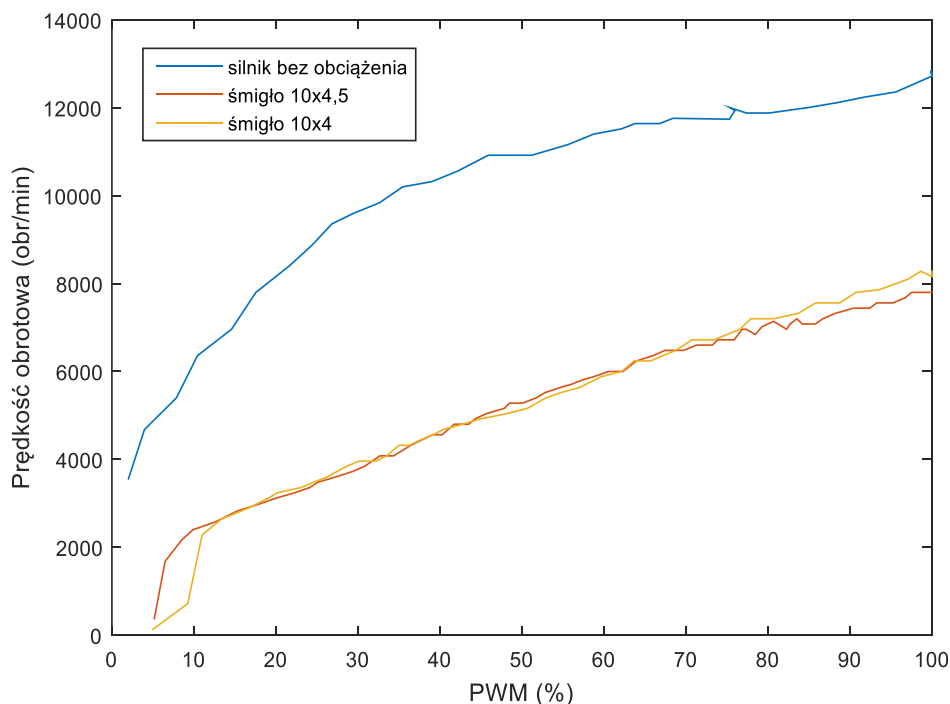
Siła  $RB_y$  mierzona jest za pomocą belki tensometrycznej NA27 o zakresie pomiarowym od 0 do 5 kg. Pomiar wartości tensometru obsługuje 24-bitowy konwerter analogowo-cyfrowy oparty na chipie XH711. W celu realizacji pomiaru prędkości obrotowej silnika zastosowano tachometr bazujący na czujniku odbicia wiązki. W tym celu zastosowano czujnik odbiciowy TCRT5000 oraz naklejono pasek czarnej folii wokół rotora silnika, zostawiając mały fragment odbijający wiązkę z czujnika. Prędkość obrotowa określana jako liczba obrotów silnika na minutę (ang. RPM – revolutions per minute) liczony będzie stosunek czasu minuty do czasu, jaki upłynie między dwoma kolejnymi odbiciami wiązki. Do pomiaru natężenia prądu wykorzystano moduł ACS712, pracujący w oparciu o efekt Halla. Do pomiaru napięcia wykonano dzielnik napięcia na bazie rezystorów  $100k\Omega$  i  $10k\Omega$ , który obniża napięcie do zakresu 0-5V, dzięki czemu możliwy jest pomiar prądu za pomocą 10-bitowych wejść analogowych jednostki pomiarowej. W celu akwizycji pomiarów użyto Arduino Uno z wykonanym oprogramowaniem, które rejestruje oraz wysyła dane zebrane z czujników do komputera. W celu sterowania elektronicznym regulatorem prędkości zastosowano układ testera serwomechanizmów modelarskich, który

pozwała na zadawanie szerokości impulsu PWM za pomocą pokrętki. Szerokość impulsu została także zmierzona i zarejestrowana. Mierzone wartości zostały zapisane do pliku przy pomocy portu szeregowego oraz programu CoolTerm 1.4.7. Następnie dane zostały opracowane oraz przedstawione za pomocą programu MATLAB R2015.

Wykonane zostały testy:

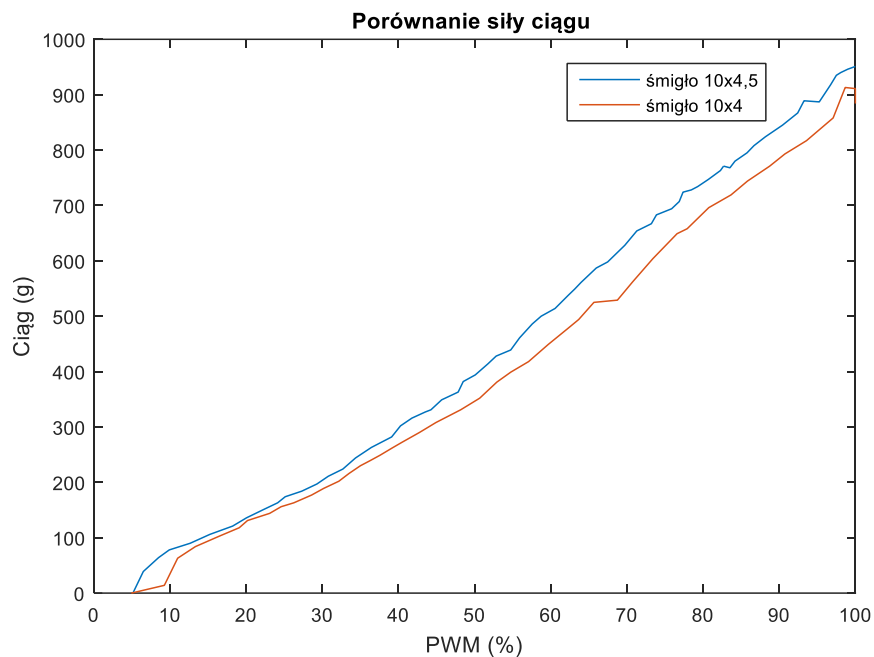
- Napęd wraz ze śmigłem 10x4,5 ABS
- Napęd wraz ze śmigłem 10x4 CFRP
- Napęd bez obciążenia w postaci śmigła
- Porównanie wszystkich czterech zespołów napędowych

Rysunek 4. przedstawia porównanie prędkości obrotowej w funkcji wysterowania PWM, na podstawie wykresu można stwierdzić, że obciążenie silnika w postaci śmigła powoduje znaczny spadek obrotów zależny od parametrów śmigła. Najwyższą prędkość obrotową 12840 obr/min przy napięciu 12,4 V osiągnął silnik bez obciążenia.



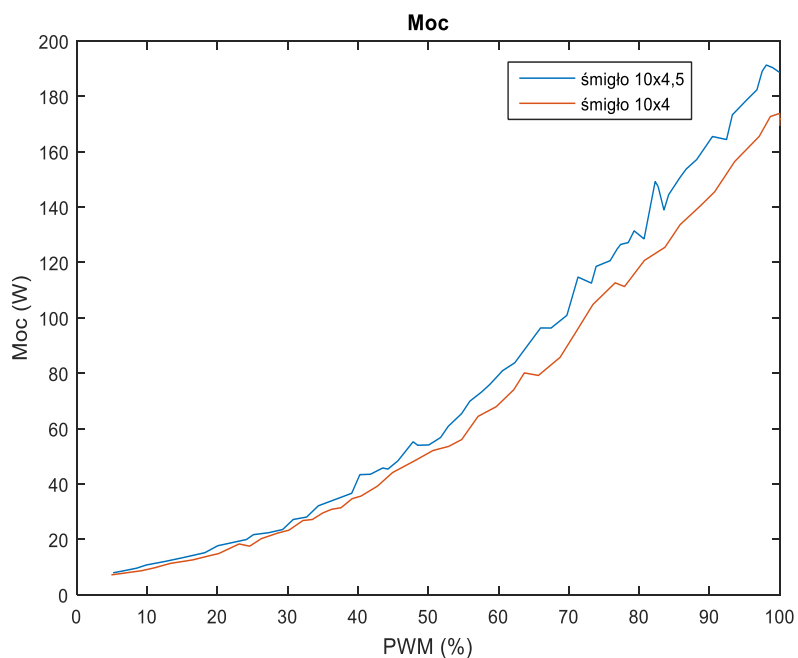
Rys. 4. Porównanie prędkości obrotowych w funkcji wysterowania PWM

Priorytetowym parametrem podczas doboru śmigła jest uzyskiwana siła ciągu silnika. Na rysunku 5. widać, że napęd wraz ze śmigłem 10x4,5” wytwarza większą siłę ciągu w całym zakresie obrotowym.



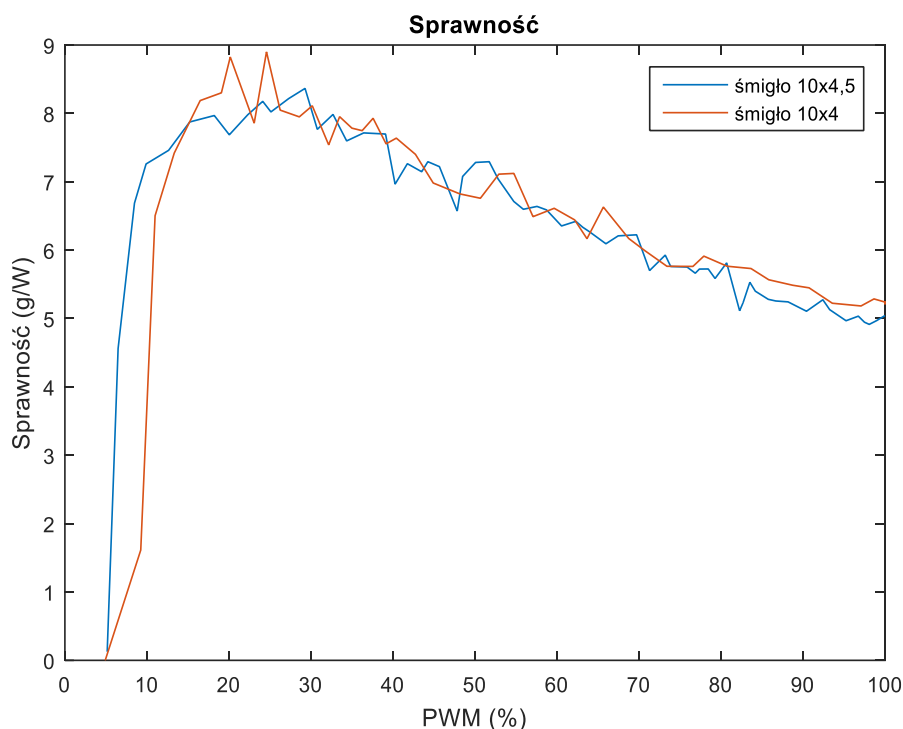
Rys.5. Porównanie siły ciągu wytwarzanej przy różnych śmigłach

Na wykresach 6 oraz 7 przedstawione zostały także moc i sprawność silnika, dla danego śmigła. Jak widać z rysunku 6, dla śmigła o większym skoku moc jest większa w całym zakresie obrotowym.



Rys.6. Porównanie mocy

Sprawność przedstawiona na rysunku przyjmuje porównywalne wartości, jednak w górnym zakresie obrotowym jest większa dla śmigła o mniejszym skoku.



Rys.7. Porównanie sprawności

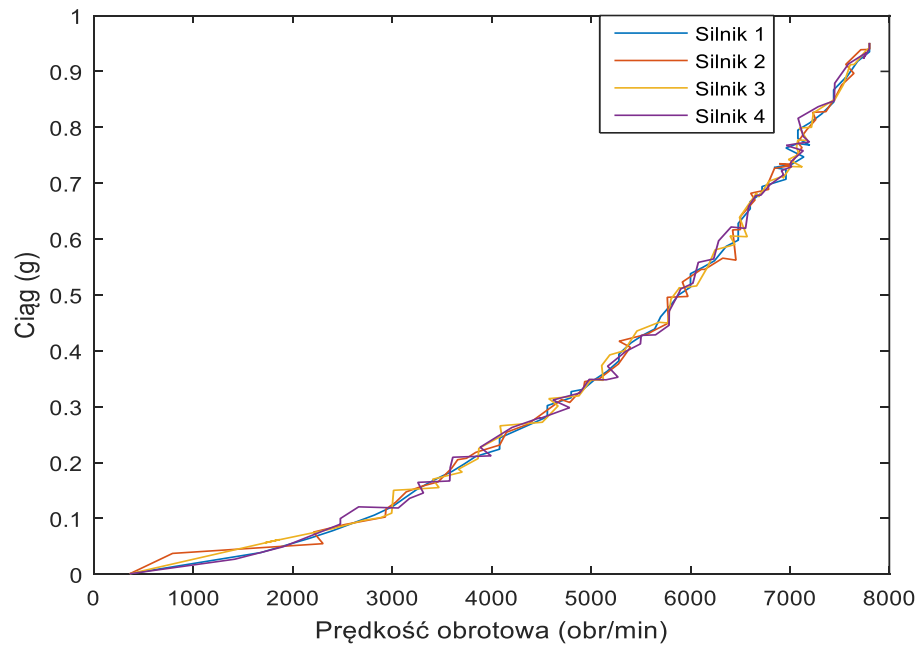
W tabeli zostały zebrane wartości maksymalne uzyskane dla danego śmigła podczas pomiaru.

Tab.1 Wartości maksymalne parametrów uzyskane w czasie pomiarów

Parametr	Śmigło 10x4,5 ABS	Śmigło 10x4 CFRP
Prędkość obrotowa	7800 obr/min	8280 obr/min
Ciąg	951 g	913 g
Moc	191 W	173 W
Sprawność	8,365 g/W	8,9 g/W
Prąd	16,28 A	14,87 A

Uzyskane parametry pozwalają na dobór odpowiedniego śmigła, regulatora, jak i akumulatora. Obydwa porównywane śmigła nadają się do zastosowania w projekcie, jednak wybrane zostały śmigła 10x4,5”, z uwagi na dostarczanie większej siły ciągu oraz pięciokrotnie niższą cenę w porównaniu do śmigieł wykonanych z włókna węglowego.

Na wykresie 8. widoczne jest porównanie wszystkich czterech zespołów napędowych. Wykres obrazuje niewielkie różnice w pracy wszystkich napędów spowodowane zbyt małą dokładnością pomiaru prędkości obrotowej wirników. Rzeczywiste różnice mogą wynikać z nierównomiernego wywarzenia zespołów napędowych lub ewentualnych niedokładności w wykonaniu silników i śmigieł.



Rys.8. Porównanie czterech zespołów napędowych w funkcji siły ciągu zależnej od prędkości obrotowej