



Article citation info:

Haniszewski, T. Conception of test bench for study dynamic phenomena, taking place during lifting the load. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2015, **88**, 49-60. ISSN: 0209-3324. DOI: 10.20858/sjsutst.2015.88.5.

Tomasz HANISZEWSKI¹

CONCEPTION OF TEST BENCH FOR STUDY DYNAMIC PHENOMENA, TAKING PLACE DURING LIFTING THE LOAD

Summary. This article contains a description of an experimental design concept of test bench, which allows for a series of studies on the dynamic effects associated with lifting the load. Built on the basis of the proposed project test bench, allows for measurements such data as acceleration of the center of girder and the cargo, displacement of the cargo and the center of girder, measurement of stress in the selected locations on the structure, depending mainly on the specific construction of analyzed girder, dynamic surplus ratio and others. It is planned that an electrical and electronic part of test bench will be made with using a series of PHIDGET circuits, which are complete systems based on USB interface witch they are based on practically any programming language. Application of PHIDGET circuits allows mainly for full control of the system using a PC, and allows to immediate analysis of the data that are very important when the verification of the phenomenological model of proposed lifting mechanism are considered.

Keywords: modeling; mechanical vibration; mechatronics.

¹ Silesian University of Technology, Faculty of Transport, Krasińskiego 8 Street, 40-019 Katowice, Poland, e-mail: tomasz.haniszewski@polsl.pl

KONCEPCJA PROJEKTU STANOWISKA DO BADANIA ZJAWISK DYNAMICZNYCH ZACHODZĄCYCH PODCZAS UNOSZENIA ŁADUNKU

Streszczenie. Artykuł zawiera opis koncepcji projektu eksperymentalnego stanowiska badawczego, umożliwiającego przeprowadzenie badań dotyczących zjawisk dynamicznych towarzyszących podnoszeniu ładunku. Budowa na podstawie proponowanego projektu stanowiska umożliwia między innymi pomiary takich wielkości, jak przyspieszenie środka dźwigara oraz ładunku, przemieszczenia ładunku i środka dźwigara, pomiar naprężenia w wybranych miejscach konstrukcji w zależności od budowy konkretnego analizowanego dźwigara, współczynnika nadwyżki dynamicznej oraz innych. Planuje się, by część elektryczna i elektroniczna stanowiska została wykonana przy użyciu układów serii PHIDGET, będących kompletnymi układami opartymi na interfejsie USB i praktycznie dowolnym języku programowania. Zastosowanie układów PHIDGET umożliwi między innymi pełne sterowanie układem z wykorzystaniem komputera PC, a tym samym pozwala na natychmiastową analizę danych, tak ważną przy weryfikacji modelu fenomenologicznego proponowanego mechanizmu podnoszenia.

Słowa kluczowe: modelowanie; drgania; mechatronika.

1. WPROWADZENIE

Głównym problemem w procesie budowy modeli dynamicznych dotyczących mechanizmów wykonawczych maszyn roboczych jest weryfikacja i porównanie otrzymanych analitycznie danych z uzyskanymi na drodze doświadczalnej. Przy tym otrzymanie danych na drodze badań „na obiekcie” jest często utrudnione, zwłaszcza gdy dotyczy takich maszyn jak suwnice. Nawet jeśli istnieje możliwość wykonania badań, to często będą miały one zakres ograniczony do tych nieinwazyjnych, zatem wystąpi problem z otrzymaniem np. wartości naprężeń w wybranych miejscach konstrukcji lub zastosowania autorskich nietypowych systemów pomiarowych, co wiąże się praktycznie zawsze z pewnymi modyfikacjami konstrukcji bazowej. Dlatego też proponuje się zastosowanie obiektu testowego wykonanego w skali, co w konsekwencji umożliwi przeprowadzenie wielu badań (w tym testy autorskiej aparatury kontrolno-pomiarowej).

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie koncepcji budowy modelu mechatronicznego suwnicy pomostowej ze szczególnym naciskiem na mechanizm podnoszenia i jego sterowanie.

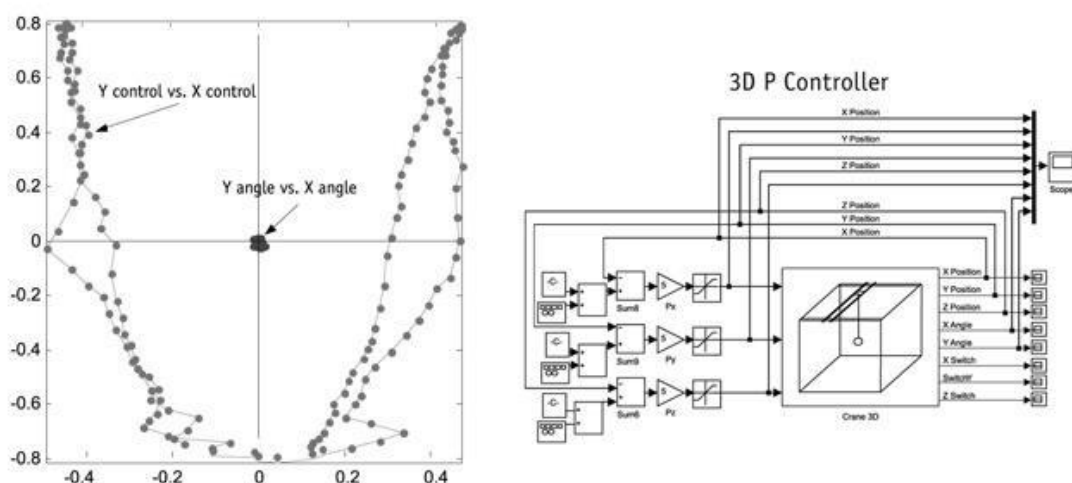
Jak wiadomo, dźwignice charakteryzują się pracą ruchem przerywanym, obciążenia więc wywołane są przyspieszeniami lub opóźnieniami ruchów roboczych i zalicza się je do obciążeń regularnych. Zatem podnoszenie ładunku z podłoża lub jego zwolnienie wzbudza drgania ustroju nośnego dźwignicy [5, 6, 8]. Wyznaczenie wartości sił dynamicznych może generować pewne trudności, a odbywać się może na drodze doświadczalnej lub metodami analitycznymi weryfikowanymi na drodze doświadczenia, podczas którego może znaleźć zastosowanie proponowany model mechatroniczny suwnicy.

Modele mechatroniczne suwnic to nieczęsto spotykane rozwiązanie w odniesieniu do celów badawczych, a zwłaszcza dynamiki mechanizmu podnoszenia. Wśród dostępnych na rynku modeli zainteresowanie budzi model firmy INTECO [10]. Firma ta oferuje produkt o wymiarach podstawowych w postaci sześcianu o boku 1 [m] z możliwością zmiany tego parametru. Na rysunku 1 przedstawiono omawiany obiekt.



Rys. 1. Model laboratoryjny suwnicy pomostowej sterowanej z komputera PC [10]

Proponowany przez firmę INTECO model trójwymiarowy suwnicy pomostowej charakteryzuje się kilkoma bardzo ciekawymi funkcjami, jak np. pomiar kąta odchylenia ładunku przy wykorzystaniu enkodera czy też pełne sterowanie w czasie rzeczywistym mechanizmami jazdy i podnoszenia, co daje tym samym pełną kontrolę nad obiektem i zapewnia możliwość testowania algorytmów przeciwdziałających np. groźnemu i czasochłonnemu podczas operacji przemieszczenia ładunku – wahaniu. Zgodnie z danymi podawanymi na stronie producenta napęd modelu składa się z 3 silników DC sterowanych z poziomu oprogramowania Matlab-Simulink przez odpowiedni sterownik zarówno sprzętowy, jak i programowy, gdzie dokładne położenie determinowane jest sygnałem z enkoderów. Schemat przykładowy Matlab-Simulink oraz przykładowe trajektorie ładunku dla omawianego obiektu przedstawiono na rysunku 2.



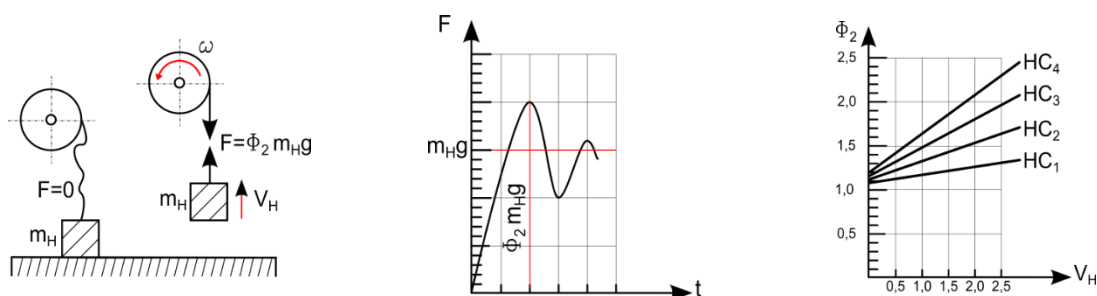
Rys. 2. Model laboratoryjny suwnicy pomostowej sterowanej z komputera PC – schemat przykładowy kontrolera 3D P oraz trajektorii ruchu ładunku [10]

W związku z zapotrzebowaniem na tego typu stanowiska zamysłem autora jest budowa modelu o nieco innym przeznaczeniu. W głównej mierze ma on służyć badaniu zachowania dynamicznego mechanizmu podnoszenia w czasie podnoszenia ładunku, a dokładnie podnoszenia z podłoża, podnoszenia ładunku przymarzniętego, unoszenia ładunku w powietrzu, szarpnięcia spowodowanego brakiem kontroli prędkości nawijania liny na bęben, zrzutu części masy, zerwania i wielu innych przypadków wpływających w różnym stopniu na tzw. współczynnik nadwyżki dynamicznej Φ_2 , który dla ładunku niezwiązanego z podłożem określa się następująco [9] (rys. 3):

$$\Phi_2 = \Phi_{2,\min} + \beta_2 v_h, \quad (1)$$

gdzie:

β – współczynnik zależny od klasy mechanizmu podnoszenia dźwignicy, v_h – charakterystyczna stała prędkość podnoszenia w [m/s], $\Phi_{2,\min}$ – minimalna wartość współczynnika.

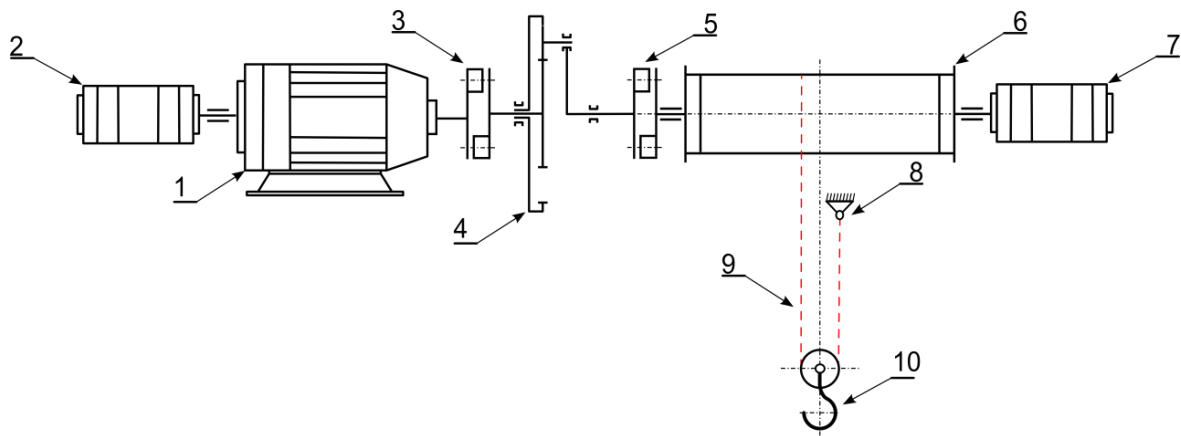


Rys. 3. Efekt dynamiczny podczas unoszenia ładunku niezwiązanego z podłożem

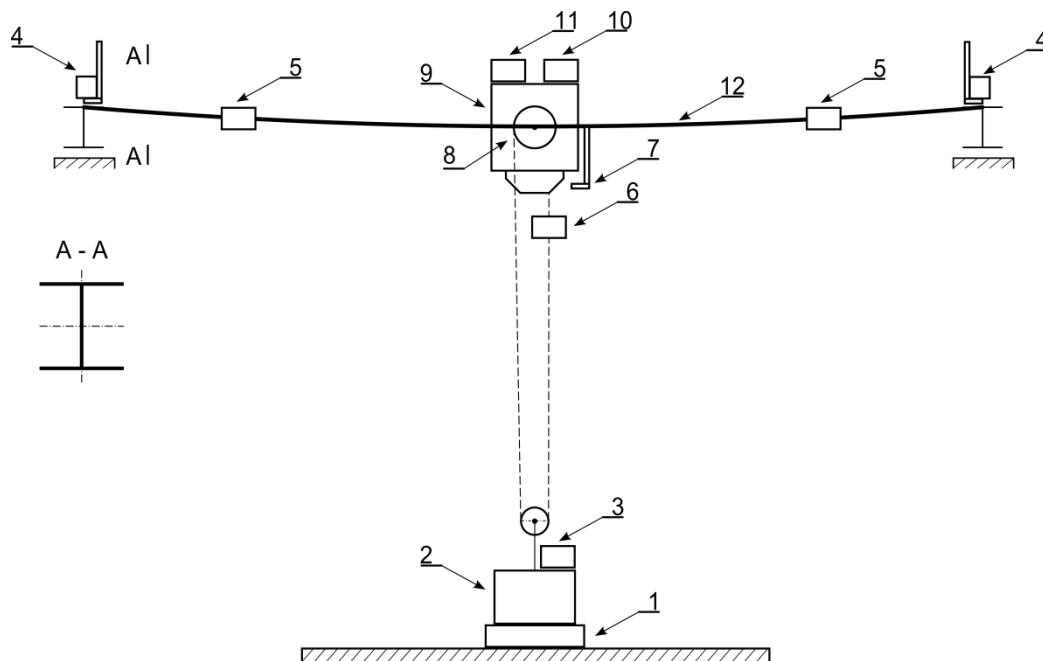
Ponieważ dla mechanizmu podnoszenia niezbędna jest konstrukcja nośna, dodatkowo zostanie zbudowany wózek wraz z konstrukcją nośną i odpowiednimi napędami, pozwalający na symulacje ruchów ładunku przy przemieszczeniach mostu i wózka suwnicy, co daje możliwość sterowania i pomiaru wielu wartości towarzyszących ruchom roboczym suwnicy pomostowej.

2. BUDOWA STANOWISKA POMIAROWEGO

W przypadku weryfikacji modeli numerycznych niezbędny jest etap porównania danych analitycznych z danymi otrzymanymi na podstawie badań. W związku z tym na rysunku 4 zaproponowano schemat kinematyczny proponowanego mechanizmu podnoszenia. Układ ten składa się z silnika prądu stałego zaopatrzonego w enkoder optyczny na drugim wale i moment napędowy 8,1 [Nm] na wyjściu zintegrowanej przekładni planetarnej o przełożeniu 76:1. Silnik ten połączono za pomocą sprzęgła podatnego z bębniem, a na jego wyjściu za pomocą sprzęgła hamulcowego podłączono enkoder optyczny do weryfikacji prędkości obrotowej bębna. Ponieważ zastosowany silnik ma zintegrowaną przekładnię planetarną, planuje się użycie hamulca elektromagnetycznego na wyjściu silnika, tj. na sprzęgle hamulcowym przybębnowym.



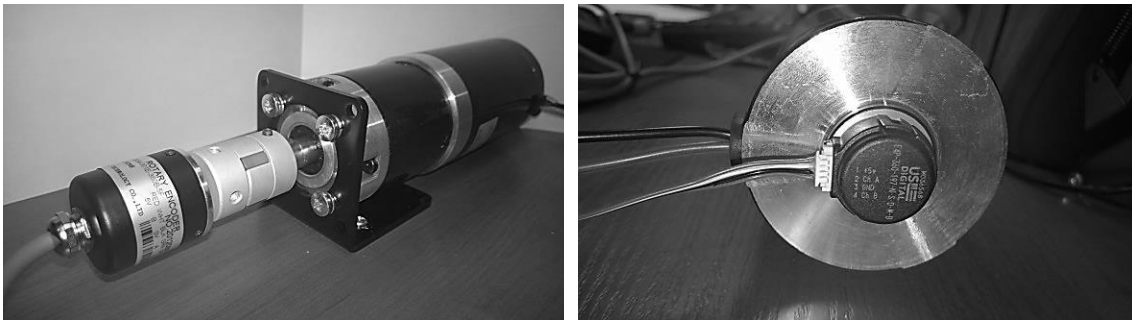
Rys. 4. Mechanizm podnoszenia obiektu badawczego: 1) silnik, 2) enkoder, 3) sprzęgło podatne, 4) przekładnia planetarna, 5) sprzęgło hamulcowe, 6) bęben, 7) enkoder, 8) utwierdzenie liny, 9) lina, 10) hak



Rys. 5. Rozkład czujników na stanowisku badawczym: 1) czujnik uniesienia ładunku, 2) ładunek testowy, 3) czujnik przyspieszenia ładunku, 4) wyłączniki krańcowe, 5) pomiar naprężeń i przyspieszeń w wybranych punktach dźwigara (położenia skrajne oraz środek), 6) pomiar siły w linie, 7) wyłącznik krańcowy mechanizmu podnoszenia, 8) pomiar prędkości kątowej silnika mechanizmu podnoszenia, 9) mechanizm podnoszenia, 10) pomiar temperatury otoczenia, 11) pomiar przyspieszenia środka dźwigara, 12) dźwigar

Rysunek 5 ilustruje rozmieszczenie elementów odpowiadających za pomiary wybranych wielkości. Zgodnie z rysunkiem 5 na wózku oprócz elementów zamieszczonych na schemacie kinematycznym 4 zamieszczono także wyłączniki krańcowe (rys. 5, pkt. 4, 7; alternatywnie można wykorzystać wiązkę promieniowania podczerwonego, w przypadku gęstego rozmieszczenia wiązek można także weryfikować w przybliżeniu położenie danego elementu, tj. wózka czy też mostu) do awaryjnej weryfikacji maksymalnego położenia ładunku. Układ sterujący silnikami mechanizmu zarówno podnoszenia, jak i napędu jazdy wózka oraz mostu będzie miał sterowanie prędkością kątową wału silnika, a w połączeniu z programowym

kontrolerem PID umożliwi określenie dokładnego położenia ładunku, a tym samym da możliwość jego pozycjonowania. W związku z zastosowaniem enkoderów na wale silnika oraz bębna przykładowo dane z nich zaczerpnięte mogą dotyczyć pomiaru dynamicznego prędkości obrotowej wału silnika i bębna (rys. 5, pkt 8). Tak zapisany przebieg dynamiczny prędkości obrotowej w czasie rozruchu umożliwia użycie takiego przebiegu jako wymuszenia kinematycznego dla modeli fenomenologicznych mechanizmów podnoszenia suwnic i badania wpływu rozruchu na współczynnik nadwyżki dynamicznej. Przykładowe połączenie enkoderów na wale silnika oraz na wale wyjściowym przekładni przedstawiono na rysunku 6.



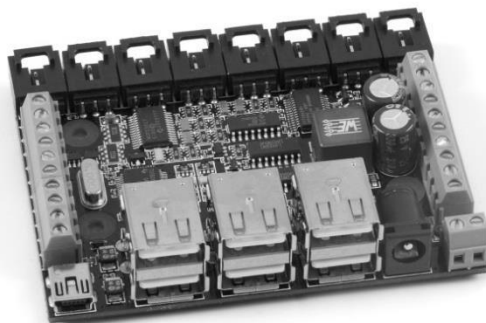
Rys. 6. Silnik mechanizmu podnoszenia wraz z przekładnią oraz enkoderem na wale oraz na wyjściu przekładni

Podobne rozwiązanie związane z kontrolą położenia wału silnika zostanie zastosowane w odniesieniu do mechanizmu jazdy wózka oraz mostu. Ponieważ każdy z silników zostanie zaopatrzony w enkoder, zyskuje się dodatkowo możliwość pomiaru kąta zukosowania mostu podczas jazdy. Na konstrukcji wózka mechanizmu podnoszenia zostanie zamontowany także układ akcelerometru (rys. 5, pkt. 3, 11) oraz żyroskopu do pomiaru prędkości kątowych i przyspieszeń w trzech niezależnych osiach, planuje się także zastosowanie dodatkowych akcelerometrów i żyroskopów dwuzakresowych na końcach czołownic i bezprzewodowego na ładunku testowym do pomiaru przyspieszeń oraz kątów przy ruchach roboczych i uderzeniach [4, 7]. Przy wykorzystaniu przetworników tensometrycznych (rys. 5, pkt. 5, 6, 1) zostaną określone siła w linie [1] oraz nacisk ładunku na podłoże wraz z weryfikacją stanu uniesienia ładunku. Ostatnim elementem na wózku mechanizmu podnoszenia będzie zestaw dwóch inklinometrów MEMS pojemnościowych, umożliwiających za pomocą przekładni mechanicznej pomiar kątów odchylenia ciężna od osi pionowej. Dla konstrukcji dźwigara przewiduje się zastosowanie szeregu na stałe zainstalowanych tensometrów podających wartości naprężeń w wybranych miejscach konstrukcji (rys. 5, pkt. 5).

3. CHARAKTERYSTYKA PODSTAWOWYCH ELEMENTÓW UKŁADU

Sercem modelu mechatronicznego suwnicy jest układ 1019_1 PhidgetInterfaceKit (rys. 7), łączący w sobie zarówno koncentrator portów USB, jak i szereg wejść oraz wyjść analogowych i cyfrowych. Dzięki portom USB można w bezpośredni sposób komunikować się oraz zasiląć układy wyposażone w port USB, jak np. akcelerometr serii 1044_0. Wyjścia analogowe mogą służyć np. do sterowania przekaźnikami, tranzystorami, tj. praktycznie każdym urządzeniem akceptującym sygnał CMOS. W przypadku wejść cyfrowych można ich użyć do wielu urządzeń, jak np. wszelkiego typu przycisków i włączników czy przekaźników. Należy wspomnieć, że wejścia cyfrowe są wyposażone w filtr cyfrowy mający za zadanie ograniczać nieprawidłowe wyzwalaanie spowodowane zakłóceniami.

Wejścia analogowe służą do pomiaru sygnałów elektrycznych ciągłych, takich jak temperatura, ciśnienie, pozycja itp. Próbkowanie dla wejść analogowych zawiera się w zakresie od 1 [ms] do 1000 [ms]. Układ zawiera własne zasilanie 12 [VDC] i natężeniu prądu 2 [A].



Analog Inputs

Number of Analog Inputs	8
Analog Input Resolution	10 bit
Input Impedance	900 k Ω
Analog Input Voltage Min	0 V DC
Analog Input Voltage Max	5 V DC
5V Reference Error Max	0,5 %
Analog Input Update Rate Min	1 samples/s
Analog Input Update Rate Max (4 Channels)	1000 samples/s
Analog Input Update Rate Max (8 Channels)	500 samples/s
Analog Input Update Rate Max (WebService)	62,5 samples/s

Digital Inputs

Number of Digital Inputs	8
Pull-up Resistance	15 k Ω
Low Voltage Max (True)	900 mV DC
High Voltage Min (False)	4,2 V DC
Low Voltage Trigger Length Min	4 ms
High Voltage Trigger Length Min	15 ms
Digital Input Voltage Max	\pm 15 V DC
Digital Input Update Rate	125 samples/s

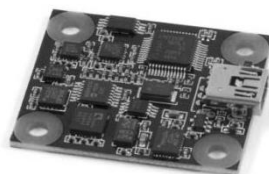
Digital Outputs

Number of Digital Outputs	8
Series Resistance	300 Ω
Digital Output Current Max	16 mA
Digital Output Voltage Min	0 V DC
Digital Output Voltage Max	5 V DC

Rys. 7. 1019_1 – PhidgetInterfaceKit 8/8/8 w/6 portowy koncentrator USB [11]

Do pomiaru przyspieszeń zostanie użyty układ 1044_0 PhidgetSpatial Precision 3/3/3 High Resolution (rys. 8). Składa się on nie tylko z samego akcelerometru, lecz także zawiera w swej strukturze żyroskop oraz czujnik pola magnetycznego, a każdy z nich charakteryzuje się trzema osiami pomiarowymi. Cechą wyróżniającą układ jest zastosowanie dwuzakresowego akcelerometru i żyroskopu w celu dokładnego pomiaru w zakresie ± 2 [g] z rozdzielczością 76,3 [μ g] oraz ± 400 [$^{\circ}$ /s] z rozdzielczością 0,013 [$^{\circ}$ /s] dla osi z oraz pomiaru o mniejszej dokładności w zakresie ± 8 [g] z rozdzielczością 976,7 [μ g] oraz ± 2000 [$^{\circ}$ /s] z rozdzielczością 0,07 [$^{\circ}$ /s] dla każdej z osi.

Precision Gyroscope	
Gyroscope Speed Max (X-Axis, Y-Axis)	\pm 400 $^{\circ}$ /s
Gyroscope Speed Max (Z-Axis)	\pm 300 $^{\circ}$ /s
Gyroscope Resolution (X-Axis, Y-Axis)	0,02 $^{\circ}$ /s
Gyroscope Resolution (Z-Axis)	0,013 $^{\circ}$ /s
Gyroscope White Noise σ	0,095 $^{\circ}$ /s
Gyroscope Minimum Drift σ	0,0042 $^{\circ}$ /s
Gyroscope Optimal Averaging Period	7743 s
Precision Accelerometer	
Acceleration Measurement Max	\pm 2 g
Acceleration Measurement Resolution	76,3 μ g
Acceleration Bandwidth	497 Hz
Accelerometer White Noise σ	280 μ g
Accelerometer Minimum Drift σ	40,6 μ g
Accelerometer Optimal Averaging Period	398 s
Backup Gyroscope	
Gyroscope Speed Max	\pm 2000 $^{\circ}$ /s
Gyroscope Resolution	0,07 $^{\circ}$ /s
Gyroscope White Noise σ	0,59 $^{\circ}$ /s
Compass	
Magnetic Field Max	5,5 G
Compass Resolution	3 mG
Compass White Noise σ	1,1 mG
Compass Minimum Drift σ	78 μ G
Compass Optimal Averaging Period	1443 s
Backup Accelerometer	
Acceleration Measurement Max	\pm 8 g
Acceleration Measurement Resolution	976,7 μ g
Accelerometer White Noise σ	2,8 mg



Rys. 8. 1044_0 – PhidgetSpatial Precision 3/3/3 o dużej rozdzielczości [11]
 Jednostką napędową mechanizmu układu podnoszenia jest silnik serii 3273E_0 (rys. 9)

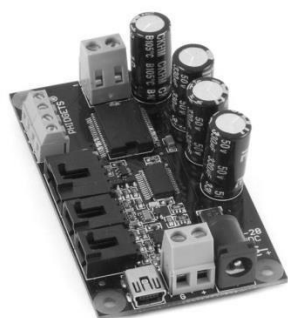
prądu stałego o mocy 30 [W]. Zasilanie wymagane do jego pracy to 24 [VDC] oraz prąd 2,2 [A]. Źródłem jego zasilania jest zewnętrzny zasilacz laboratoryjny sterowany cyfrowo za pomocą komputera PC. Silnik ten ma zintegrowaną przekładnię planetarną o przełożeniu 76:1 i momencie napędowym 8,1 [Nm] przy prędkości obrotowej 33 [obr/min]. Silnik ten ma także zintegrowany enkoder służący do kontroli prędkości.



Motor Properties		Gearbox Specifications	
Motor Type	DC Motor with Encoder	Gearbox Type	Planetary
Output Power (Mechanical)	30 W	Gear Ratio	76 ⁴⁹ / ₆₄ : 1
Maximum Speed at Rated Voltage	33 RPM	Number of Gear Trains	3
Rated Torque	82.6 kg·cm	Maximum Strength of Gears	306 kg·cm
Stall Torque	558 kg·cm	Shaft Maximum Axial Load	200 N
		Shaft Maximum Radial Load	100 N
		Backlash Error	3°
Electrical Properties		Encoder Specifications	
Rated Voltage	24 V DC	Encoder Resolution	360 CPR
Rated Current	2.2 A	Connector Type	E4P
Stall Current	10.8 A	Current Consumption Min	27 mA
		Supply Voltage Min	4.5 V DC
		Supply Voltage Max	5.5 V DC
Physical Properties			
Shaft Diameter	12 mm		
Wire Length	300 mm		
Weight	1.7 kg		

Rys. 9. 3273E_0 – 24V/82.6Kg-cm/33RPM 76:1 Silnik DC z przekładnią i enkoderem [11]

W celu zapewnienia kontroli nad pracą silnika mechanizmu podnoszenia zostanie użyty układ 1065_0 – PhidgetMotorControl 1-Motor (rys. 10). Układ ten umożliwi podłączenie zarówno samego silnika, jak i niezbędnego do kontroli prędkości kątowej enkodera. Dzięki niemu uzyskuje się kontrolę nad kierunkiem obrotów, prędkością i jego przyspieszeniem.



Controller Properties	
API Object Name	MotorControl
Motor Type	DC Motor
Number of Motor Ports	1
Velocity Resolution	0.39 % Duty Cycle
Acceleration Resolution	0.39 % Duty Cycle/s
Acceleration Min	24.5 % Duty Cycle/s
Acceleration Max	6250 % Duty Cycle/s
Acceleration Time Min	32 ms
Acceleration Time Max	8.2 s
Encoder Interface	
Number of Encoder Inputs	1
Count Rate Max	500000 cycles/s
Encoder Interface Resolution	x1
Update Rate	125 samples/s
Time Resolution	

Rys. 10. 1065_0 – PhidgetMotorControl 1-Silnik [11]

Dzięki zastosowaniu układu serii 3122_0 – FC22 Compression Load Cell (0-50 lbs) – FC2231-0000-0050L (rys. 11) uzyskano możliwość pomiaru siły, np. oddziałującej na podłoże przy poderwaniu ładunku. Zastosowany czujnik umożliwia maksymalne obciążenie ciężarem 22,7 [kg]. Sygnał, jaki generuje, należy do ciągłego analogowego, zatem jego podłączenie następuje do układu z wejściami analogowymi serii 1019_1.



Sensor Properties	
Sensor Type	Compression Load Cell
Sensor Output Type	Ratiometric
Weight Capacity Max	22.7 kg
Maximum Overload	56.7 kg
Long-Term Deviation	± 226.8 g
Zero Balance	± 226.8 g
Cell Repeatability Error Max	± 226.8 g
Cell Non-Linearity Max	226.8 g
Temperature Effect on Span Max	± 283.5 g
Temperature Effect on Zero Max	± 283.5 g

Physical Properties	
Compensated Temperature Min	0 °C
Compensated Temperature Max	50 °C
Operating Temperature Min	-40 °C
Operating Temperature Max	85 °C
Cable Length	609.6 mm

Rys. 11. 3122_0 – FC22 Czujnik nacisku (0-50 lbs) - FC2231-0000-0050L [11]

Na stanowisku badawczym zastosowano również układ serii 1047_1 – PhidgetEncoder HighSpeed 4-Input (rys. 14), będący układem odczytującym dane z enkodera optycznego. Układ jest zasilany z portu USB i ma cztery wejścia.



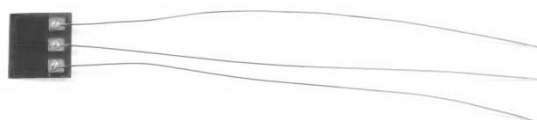
Encoder Properties	
Output Circuit Type	Push-Pull (Single-Ended)
Encoder Resolution	360 CPR
Encoder Speed Max	3000 RPM

Electrical Properties	
Supply Voltage Min	5 V DC
Supply Voltage Max	5 V DC
Output Frequency Max	80 kHz

Physical Properties	
Shaft Diameter	4 mm
Shaft Maximum Axial Load	10 N
Shaft Maximum Radial Load	20 N
Operating Humidity Min	30 %RH
Operating Humidity Max	(Non-condensing) 85 %RH
Operating Temperature Min	-25 °C
Operating Temperature Max	85 °C
IP Rating	IP54
Weight	83 g

Rys. 12. 3530_0 – Enkoder optyczny obrotowy ISC3004 [11]

Wraz z omawianym układem wykorzystano optyczny enkoder serii 3530_0 – Optical Rotary Encoder ISC3004 (rys. 12). Układ charakteryzuje maksymalna prędkość obrotowa 3000 [obr/min] oraz rozdzielczość 18 000 [°/s]. Jego zastosowanie to między innymi kontrola prędkość kątowej bębna, tj. weryfikacja, oraz przez odpowiedni układ mechanicznych dźwigni pomiar kąta wychylenia ładunku od osi pionowej [2, 3] jako alternatywa omawianej na wstępie metody z użyciem inklinometrów MEMS.



Sensor Properties	
Sensor Type	Half-bridge Strain Gauge

Electrical Properties	
Resistance Value	(per quarter-bridge) 1 kΩ

Physical Properties	
Backing Material	Phenolic Resin
Active Area Length	3 mm

Rys. 13. 3145_0 – Half-bridge Aluminum Strain Gauge [11]

Encoder Interface

API Object Name	Encoder
Number of Encoder Inputs	4
Count Rate Max	1E+06 pulses/s
Encoder Interface Resolution	x4
Update Rate	125 samples/s
Time Resolution	1 µs
Encoder Input Low Voltage Max	800 mV DC
Encoder Input High Voltage Min	2.1 V DC
USB Speed	Full Speed

Electrical Properties

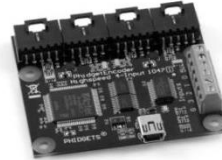
Encoder Pull-up Resistance	10 kΩ
Current Consumption Max	470 mA
Current Consumption Max (per encoder)	200 mA
Current Consumption Min	30 mA
USB Voltage Min	4.8 V DC
USB Voltage Max	5.3 V DC

Physical Properties

Recommended Wire Size	16 - 26 AWG
Operating Temperature Min	0 °C
Operating Temperature Max	70 °C

Digital Inputs

Number of Digital Inputs	4
Pull-up Resistance	15 kΩ
Low Voltage Max (True)	800 mV DC
High Voltage Min (False)	2.1 V DC
Low Voltage Trigger Length Min	4 ms
High Voltage Trigger Length Min	16 ms
Digital Input Voltage Max	± 15 V DC
Digital Input Update Rate	125 samples/s



Rys. 14. 1047_1 – PhidgetEncoder HighSpeed 4-Wejścia [11]

Do pomiaru temperatury otoczenia wykorzystano układ serii 1124_0 – Precision Temperature Sensor (rys. 15) podłączany do wejść analogowych układu z serii 1019_1. Zakres pomiaru temperatury wynosi od -30 [°C] do +80 [°C] z rozdzielczością 0,2 [°C].

Sensor Properties

Sensor Type	Temperature (Ambient)
Sensor Output Type	Ratiometric

Temperature Sensor

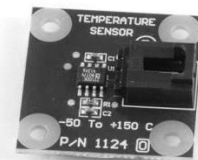
Ambient Temperature Min	-30 °C
Ambient Temperature Max	80 °C
Ambient Temperature Resolution	0.2 °C
Temperature Error Typical (At 25°C)	± 0.5 °C
Ambient Temperature Error Max	± 2 °C

Electrical Properties

Supply Voltage Min	4 V DC
Supply Voltage Max	6.5 V DC
Current Consumption Max	1 mA
Output Impedance	1 kΩ
Output Voltage Min	250 mV DC
Output Voltage Max	4.8 V DC

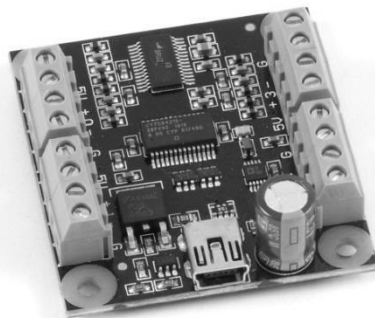
Physical Properties

Operating Temperature Min	-40 °C
Operating Temperature Max	105 °C



Rys. 15. 1124_0 – Precyzyjny czujnik temperatury [11]

Ostatnim z użytych układów jest układ 1046_0 – PhidgetBridge 4-Input (rys. 16) wraz z odpowiednimi tensometrami. PhidgetBridge jest kartą interfejsu niezbędną do pomiaru sygnałów wyjściowych z mostków tensometrycznych. Umożliwia on podłączenie do czterech układów, przy czym sygnały te nie muszą być wstępnie wzmacnione.

**Board**

API Object Name	Bridge
Number of Bridge Inputs	4
Bridge Data Rate Min	8 ms
Bridge Data Rate Max	1000 ms
Bridge Input Current Max	± 3 nA
Differential Voltage Resolution	24 bit

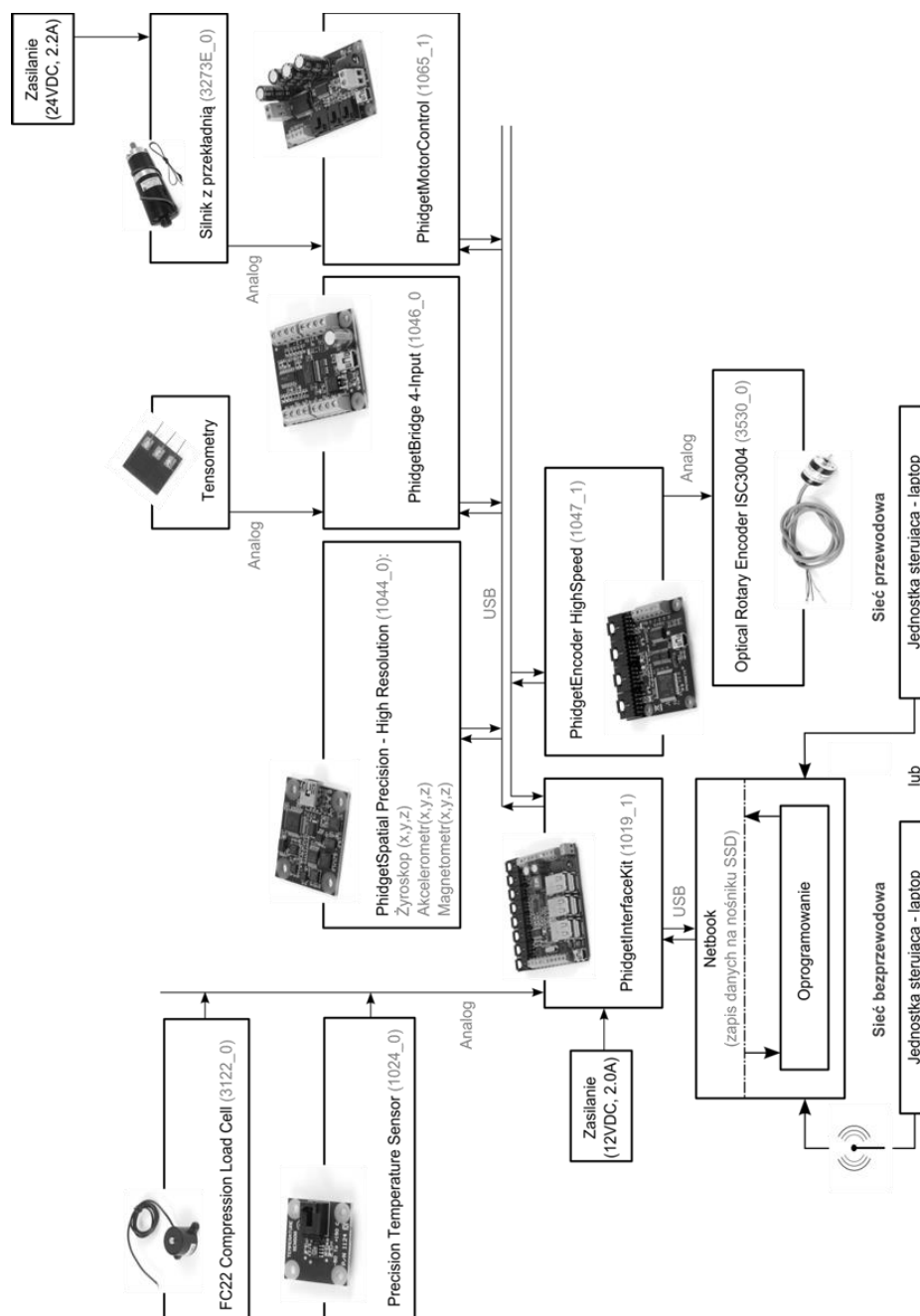
Electrical Properties

USB Voltage Min	4.5 V DC
USB Voltage Max	5.3 V DC
USB Speed	Full Speed
Current Consumption Min	35 mA
Current Consumption Max	500 mA
Available External Current	465 mA
Input Voltage Limit Min	Ground + 0.25V DC
Input Voltage Limit Max	5V Supply - 0.25V DC

Physical Properties

Recommended Wire Size	16 - 26 AWG
Operating Temperature Min	0 °C
Operating Temperature Max	70 °C

Rys. 16. 1046_0 – PhidgetBridge 4-Wejścia [11]



Rys. 17. Ogólny schemat połączeń układów elektronicznych

Podstawowa omawiana konfiguracja będzie się opierać na schemacie przedstawionym na rysunku 17. Komunikacja z każdym z układów tworzących całą gamę torów pomiarowych i wykonawczych następuje przez złącze USB łączące serce układu, tj. układ 1019_1 PhidgetInterfaceKit z komputerem PC. Warto wspomnieć, że ze względu na możliwość zastosowania praktycznie dowolnego języka programowania standardowy komputer PC można całkowicie wyeliminować, a na jego miejsce podłączyć platformę opartą na „Raspberry Pi” [12], mającym złącza USB do podłączenia dowolnych urządzeń zewnętrznych, jak np. układy serii PHIDGET. Dla takiego połączenia zyskujemy niemal nieograniczone możliwości konfiguracji, łącząc w parę zarówno czujniki, jak i system sterujący, a całością dodatkowo można zarządzać zdalnie przez sieć WWW.

4. WNIOSKI

W artykule przedstawiono koncepcję mechatronicznego modelu suwnicy pomostowej, którą można zastosować do oceny np. skuteczności eliminacji drgań mechanicznych przenoszonych na konstrukcję podczas podnoszenia ładunku dla różnych metod sterowania prędkością kątową silnia. Taki model mechatroniczny umożliwi odwzorowanie wpływu wielu czynników, które mają wpływ na dynamikę konstrukcji suwnicy. Na podstawie prowadzonych badań na obiekcie mechatronicznym będzie można budować modele fenomenologiczne mechanizmu podnoszenia suwnic, a tym samym doskonalić je i weryfikować. Opracowany w pracy model mechatroniczny może stanowić podstawę do rozwijania badań dynamiki suwnic pomostowych, a w szczególności oddziaływań dynamicznych ładunku na konstrukcję nośną.

Praca była wykonana jako część BKM – 543/RT3/2014.

References

1. Gembalczuk G., S. Duda. 2013. „Projekt i walidacja urządzeń pomiarowych – siły w linie i kąta wychylenia liny zawiesia suwnicy”. [In Polish: “Design and validation of measuring equipment - rope force and deflection angle rope slings crane”]. *Modelowanie Inżynierskie* 47: 75-81.
2. Hyla P. 2014. “Single camera-based crane sway angle measurement method”. In *Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR). 19th International Conference*: 732-737. Międzyzdroje.
3. Hyla P. 2012. “The Crane Control Systems: A Survey”. In *Conference: Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR). 17th International Conference*: 505-509. Międzyzdroje.
4. Kucharski T. 2002. *System pomiaru drgań mechanicznych*. [In Polish: *The measurement of mechanical vibrations*]. Warszawa: WNT.
5. Margielewicz Jerzy, Tomasz Haniszewski, Damian Gąska, Czesław Pypno. 2013. *Badania modelowe mechanizmów podnoszenia suwnic*. [In Polish: *Model tests of hoisting cranes*]. Katowice: Komisja Transportu Polska Akademia Nauk Oddział w Katowicach.
6. Markusik Sylwester, Damian Gąska, Kazimierz Witaszek. 2007. „Badania przyspieszeń i poziomów drgań w suwnicach pomostowych”. [In Polish: “Research acceleration and vibration levels in the bridge cranes”]. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport (Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Transport)* 63: 181-186. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
7. Osiecki J., S. Ziemia. 1968. *Podstawy pomiarów drgań mechanicznych*. [In Polish: *Basics of measurement of mechanical vibrations*]. Warszawa: PWN.
8. Piątkiewicz A., R. Sobolski. 1978. *Dźwignice*. [In Polish: *Cranes*]. Warszawa: WNT.
9. PN-EN 13001-2:2011. *Bezpieczeństwo dźwignic, ogólne zasady projektowania. Część 2: Obciążenia*. [In Polish: *Cranes safety, general principles for design. Part 2: Loads*].
10. Inteco. “3D Crane”. Available at: <http://www.inteco.com.pl/products/3d-crane/>.
11. Phidgets. Available at: <http://www.phidgets.com>.
12. Raspberry Pi. Available at: <http://www.raspberrypi.org/>.

Received 20.01.2015; accepted in revised form 27.06.2015



Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License