

Rafał ORKISZ¹, Marcin SIDZINA

Opiekun naukowy: Marcin SIDZINA²

PROJEKT DYDAKTYCZNEGO STANOWISKA DO BADANIA ZEWNĘTRZNYCH WYMUSZEŃ NA OSIE ROBOTÓW PRZEMYSŁOWYCH

Streszczenie: W artykule przedstawiono stanowisko dydaktyczne służące do badania wymuszeń zewnętrznych na osie robota przemysłowego. W ramach pracy zbudowano stanowisko dydaktyczne służące do nauki dostrajania parametrów funkcji Soft Absorber w robotach Kawasaki, opisano działanie funkcji z dokładnym wytłumaczeniem jej poszczególnych instrukcji. W dalszej kolejności opisano metody badań zewnętrznego wymuszenia siłowego na osie robota oraz przedstawiono wyniki analizy.

Słowa kluczowe: roboty przemysłowe, napędy robotów, absorber siły

THE PROJECT OF DIDACTIC STAND FOR TESTING EXTERNAL FORCES ON THE AXES OF INDUSTRIAL ROBOTS

Summary: The article presents a didactic stand for testing external excitation on the axes of an industrial robot. As part of the work, a didactic stand was built for learning how to tune the parameters of the Soft Absorber function in Kawasaki robots, the operation of the function was described with a detailed explanation of its instructions. Next, the methods of external testing are described of force excitation on the robot axes and the results of the analysis were presented.

Keywords: industrial robots, robot drives, soft absorber

1. Wprowadzenie

Nowoczesne systemy produkcyjne wymagają coraz większego automatyzowania i zrobotyzowania linii produkcyjnych. Robotom przemysłowym powierza się coraz więcej zadań realizowanych do tej pory przez człowieka [1, 2]. Wyposażanie robotów w większą liczbę sensorów rozszerza ich zakres działania, nie tylko do zwykłego

¹ mgr inż., Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, raf.orkisz@gmail.com

² dr inż., Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, msidzina@ath.bielsko.pl

przenoszenia, ale pozwala im również wykonywać automatyczną detekcję zjawisk pochodzących ze świata poza systemem robota, wyposaża się je np.: w systemy umożliwiające współpracę z systemami wizyjnymi, sensorami ciepła, odległości czy siły. Elementy te są wykorzystywane np. w celu diagnostyki urządzeń [3]. Jednym z dedykowanych rozwiązań dostępnych w robotach przemysłowych jest system pochłaniania i kontrolowania wymuszeń sił zewnętrznych przez napędy robota przemysłowego. To rozwiązanie wykorzystywane jest podczas pracy np. z obrabiarkami oraz prasami, gdzie elementy wraz z robotem zmieniają położenie w sposób niepowtarzalny. Rozwiązanie to znajduje również zastosowanie przy pobieraniu elementów zmieniających pozycję i odkładaniu do gniazd niepodlegających standaryzacji. Z punktu widzenia układu sterowania rozwiązanie to niejako pozwala oddziaływać siłą zewnętrzną na aktualną pozycję robota w odpowiednim zakresie i minimalną siłą potrzebną do uzyskania wymuszenia.

2. System Soft Absorber

Soft Absorber to funkcja oprogramowania dla pewnej klasy robotów przemysłowych, nie będących kobotami, polegająca na uzależnieniu wykonywanych ruchów robota od otaczających warunków. Funkcja umożliwia ruch przy jednoczesnym przyjmowaniu i pochłanianiu siły zewnętrznej. Odbywa się to przez pomiar momentów na silnikach robota, spowodowanych zewnętrznym wymuszeniem. Efektem jest ruch złożony, zależny od relacji pomiędzy zewnętrzną siłą, a siłą napędową robota. Jeżeli zewnętrzne zakłócenie przestaje występować, ramię zatrzymuje się w aktualnej pozycji [4].

Roboty pracujące w normalnym systemie kontroli pozycji czy ścieżki ruchu utrzymują zadaną pozycję z przyjętą dokładnością konstrukcyjną, jakiegokolwiek zakłócenia, zwiększenie oddziałujących sił zewnętrznych, powodujące zmianę pozycji robota uruchomi system detekcji przeciążenia, co w efekcie wywoła błąd obciążenia napędów i zatrzymanie robota. W systemie Soft Absorber nie korzysta się z standardowych instrukcji ruchu, precyzyjne dopasowanie działania funkcji do wymagań aplikacji jest możliwe dzięki dokładnej regulacji wzmocnienia poszczególnych serwonapędów oraz odpowiedniemu dobraniu wartości parametrów funkcji [4].

2.1. Funkcjonalność systemu Soft Absorber

System wymaga unikalnego dostosowania do danego problemu. Ważnym jest aby programista odpowiednio sprecyzował warunki trajektorii przesunięcia oraz wartości sił oddziałujących na ramię. Przemieszczanie robota można podzielić na dwa rodzaje [4]:

- Ruch zależny określany również jako ruch zgodny (compliant motion), który można podzielić na trzy tryby: pierwszy, gdzie wszystkie lub tylko wybrane osie robota poddają się działającej sile. Pozycja narzędzia zmienia się w zależności od siły zewnętrznej. Drugi liniowy, pochłania siłę wzdłuż wybranej osi bazowego układu współrzędnych (*base*). Trzeci jest również liniowy, natomiast dla wybranej osi układu współrzędnych narzędzia (*tool*). W drugim oraz trzecim trybie narzędzie zachowuje określoną pozycję. Wspólnymi cechami wszystkich

trybów jest pasywny i zgodny ruch w odpowiedzi do siły zewnętrznej oraz wznowienie normalnej, dalszej pracy z pozycji, w której działanie funkcji zostało zakończone.

- Ruch częściowo zależny, gdzie robot może poruszać się liniowo w określonym przez układ współrzędnych kierunku, będąc jednocześnie częściowo zależnym od siły zewnętrznej np. jeżeli siła zewnętrzna działa w tym samym kierunku co ruch robota, ruch liniowy staje się szybszy, gdy siła działa w przeciwnym kierunku co siła napędowa robota zmniejsza się jego prędkość, jeżeli siły się równoważą to robot się zatrzymuje. W przypadku gdy siła zewnętrzna jest większa ruch robota zmienia kierunek na przeciwny do siły napędowej.

2.2. Parametry konfiguracyjne systemu Soft Absorber

Najtrudniejszym zadaniem podczas programowania aplikacji z użyciem funkcji Soft Absorber jest odpowiedni dobór instrukcji i ich parametrów. Należy znać dokładne parametry fizyczne robota oraz narzędzia, a także siły, które będą na niego oddziaływać. Dodatkowo istotne są trajektorie i dystans, który robot musi pokonać z załączoną funkcją, zarówno w ruchu zależnym jak i częściowo zależnym od siły zewnętrznej. Soft Absorber do załączenia oraz parametryzacji wymaga zastosowania dedykowanych poleceń w języku programowania robota. Schemat zapisu w programie jest następujący: należy wpisać nazwę instrukcji, następnie wykonać znak spacji, a później podać jej parametry kolejno po przecinkach. W dalszej części przedstawiono listę (tabela 1) instrukcji wraz z krótkimi opisami.

Tabela 1. Lista instrukcji funkcji Soft Absorber [4]

Nazwa instrukcji	Opis
SAGAIN	Ustawia wzmocnienie serwomechanizmu dla każdej osi. Jest ono obliczane jako procent wzmocnienia serwomechanizmu ustawione podczas normalnej pracy.
SAXYZ	Gdy przykładana jest siła zewnętrzna, to ustawia kierunek zgodnego ruchu w bazowym układzie współrzędnych <i>base</i> .
SATXYZ	Gdy przykładana jest siła zewnętrzna, to ustawia kierunek zgodnego ruchu w układzie współrzędnych narzędzia <i>tool</i> .
SADEGREE	Ustawia efektywny zakres funkcji według kąta osi.
SALENGTH	Ustawia efektywny zakres funkcji w układzie współrzędnych <i>tool</i> lub <i>base</i> .
SAGRAV	Ustawia kompensację grawitacji podczas załączonej funkcji soft absorber.
SASTART	Załącza funkcję soft absorber.
SAEND	Wyłącza funkcję soft absorber.
SAVDRAW	Wykonuje ruch w oparciu o współrzędne układu <i>base</i> tylko gdy absorber jest załączony.
SATVDRAW	Wykonuje ruch w oparciu o współrzędne układu <i>tool</i> tylko gdy absorber jest załączony.
SACURSET	Ogranicza aktualną wartość odczytu do silnika.
SAENVCHKOFF	Wyłącza sprawdzanie błędów odchylenia.
SAENVCHKON	Umożliwia sprawdzenie błędów odchylenia.
SAMONITOR	Wyświetla stan pracy i ustawienia funkcji soft absorber na konsoli.
SACHK	Sprawdza czy funkcja działa.

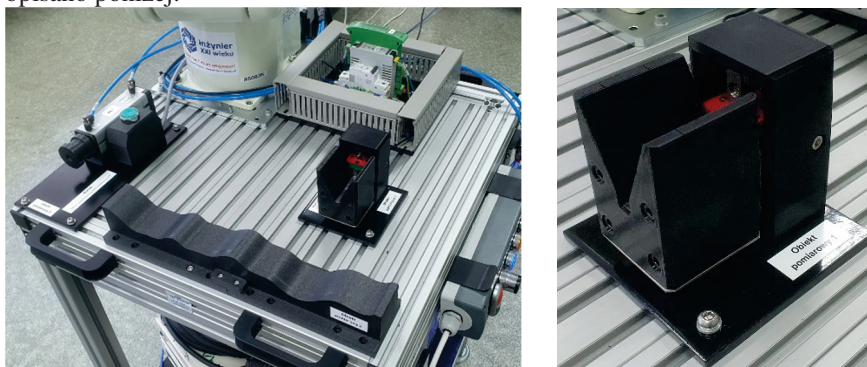
3. Cel budowy stanowiska dydaktycznego

Celem budowy stanowiska dydaktycznego było wykonanie badań pozwalających na testowanie zmian parametrów systemu Soft Absorber. Dodatkowo badania miały pozwolić na zdobycie wiedzy dotyczącej oddziaływania zakłóceń w postaci zewnętrznych wymuszeń siłowych na ruchy napędów robota przemysłowego.

Badania podzielono na trzy etapy dla dwóch rodzajów przemieszczenia. Pierwszy oraz drugi dotyczą ruchów częściowo zależnych od siły zewnętrznej w określonym kierunku, gdzie sprawdzane są zależności wpływające na nacisk robota względem obiektów pomiarowych oraz trajektorii ruchu. Trzeci etap dotyczy ruchu całkowicie zależnego, gdzie siła pochłaniana jest wzdłuż wybranej osi układu współrzędnych *base*. Narzędzie zachowuje określoną pozycję, a ramię wykonuje zgodny ruch w odpowiedzi do siły zewnętrznej.

4. Dydaktyczne stanowisko pomiarowe

Badania konfiguracji i doboru parametrów systemu Soft Absorber zostały przeprowadzane na stanowisku laboratoryjnym, którego główną rolę pełni robot przemysłowy Kawasaki RS003N [5,6,7], wraz z zaimplementowanym systemem Soft Absorber. Podstawą stanowiska jest stół wykonany z aluminiowych profili konstrukcyjnych. Stanowisko wyposażone jest w instalację elektryczną i pneumatyczną oraz sterownik PLC. Na płycie obok ramienia robota umieszczono obiekty pomiarowe oraz aparaturę kontrolną tensometru (rys.1). Wyposażeniem stanowiska badawczego są również narzędzia robota, które wyszczególniono i opisano poniżej.

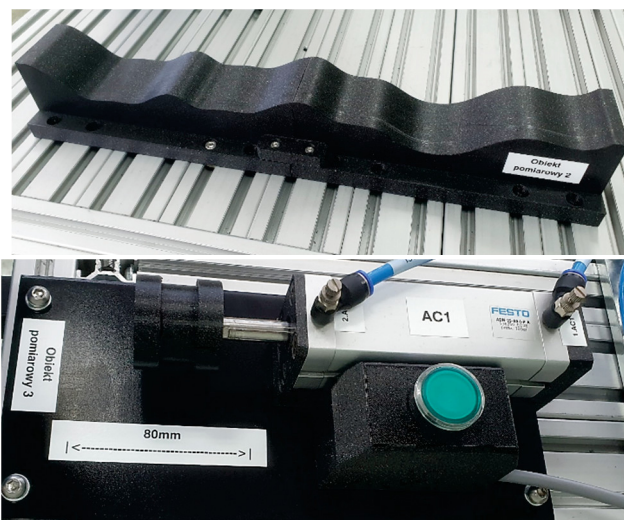


Rysunek 1. Stanowisko dydaktycznego do testowania systemu Soft Absorber, po prawej pierwszy element pomiarowy

4.1. Obiekty pomocnicze

Stanowisko pomiarowe zostało wyposażone w trzy obiekty pomocnicze. Pierwszy obiekt to jest gniazdo o konstrukcji przypominającej literę „V” (rys. 1). Składa się z podstawy, tensometru, łożyska liniowego wraz z szyną oraz gniazda i obudowy wykonanych w technologii druku 3D. Obiekt został zaprojektowany na stabilnej podstawie zamontowanej na blacie stanowiska. Przykręcony do niej został tensometr

C9B firmy HBM [8], o nominalnej sile znamionowej 1 kN. Do podstawy przykręcono prowadnicę liniową HGR15 R wraz z osłoną, a następnie założono wózek liniowy HIWIN HGW15CC ZOH. Rozwiązanie to pozwoliło na wyeliminowanie niepożądanych luzów oraz zjawiska stożka tarcia przy ruchu przesuwym w osi. Do wózka zamontowano gniazdo, po którym przemieszcza się narzędzie robota. Modułem odczytującym wartości tensometru jest uniwersalny czterokanałowy przetwornik dla czujników siły ADT42 firmy WObit, pozwala on na dokonywanie pomiarów siły z dużą rozdzielczością oraz posiada złącze USB do konfiguracji przetwornika i akwizycji danych pomiarowych. Podłączony został do układu sterowania. Drugi obiekt pomiarowy to konstrukcja wykonana w technologii FFF, posiadająca górną powierzchnię w kształcie nieregularnej fali (rys.2). Powierzchnia służy jako tor, ponieważ po niej przemieszczają się narzędzia robota. Kształt fali jest losowy, jednak główną cechą jest różnica wysokości realizowana poprzez znajdujące się na powierzchni wzniesienia i spadki. Całość stabilnie przykręcono do stanowiska tak, aby podczas badań obiekt był nieruchomy.



Rysunek 2. Elementy stanowiska dydaktycznego, od góry drugi obiekt pomiarowy, na dole trzeci obiekt pomiarowy

Trzecim obiektem pomiarowym jest konstrukcja z siłownikiem (oznaczenie -AC1) (rys.2). Został on zamontowany do podstawy przykręconej na płytę stolika wraz z przyciskiem, którego naciśnięcie wywołuje program sterujący ruchem siłownika. Pełny ruch tłoczyska siłownika wynosi 80 mm. Na końcu tłoczyska przykręcony został wydrukowany element, który jest przytrzymywany przez robota za pomocą chwytaka (narzędzie nr.N3).

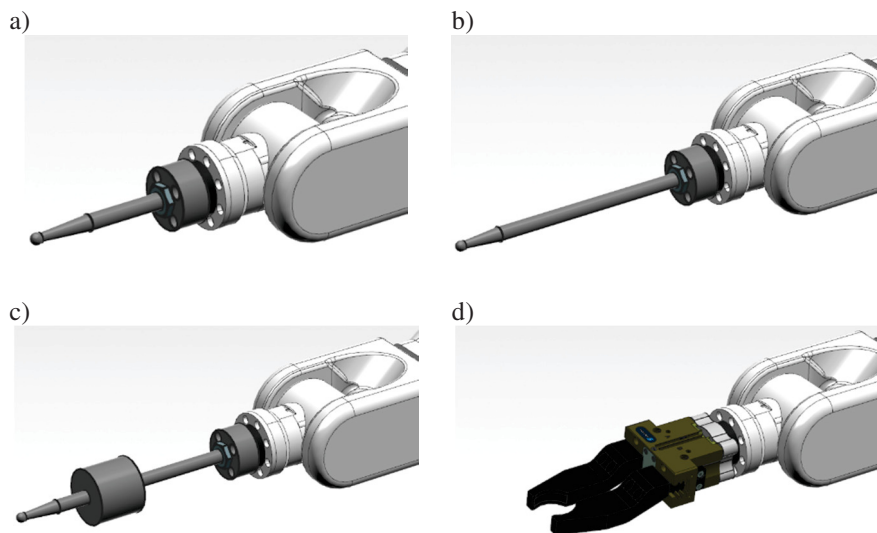
4.2. Narzędzia robota

Aby osiągnąć wszystkie zaplanowane cele pomiarowe, robot przemysłowy musiał być wyposażony w trzy różne narzędzia. Pierwsze narzędzie (oznaczone N1) zbudowane zostało z krótkiego pręta stalowego o średnicy 12 mm i długości 120 mm, posiadającego z jednej strony zewnętrzny gwint M12, służący do zamontowania

narzędzia w kołnierzu (rys.2.5). Kołnierz został stabilnie przykręcony do flanszy robota i jest on uniwersalny dla narzędzia pierwszego (N1) oraz dla narzędzia drugiego (N2). Dodatkowo przykręcono nakrętkę ułatwiającą montaż oraz eliminującą niekontrolowane wykręcanie się z kołnierza. Zakończenie pręta ma kształt sferyczny poprzedzony przewężeniem, co ułatwia przesuwanie narzędzia po obiektach pomiarowych.. Waga narzędzia wraz z kołnierzem wynosi w przybliżeniu 0,3 kg, natomiast współrzędne środka ciężkości odczytano w programie NX.

Drugie narzędzie (oznaczenie N2) jest budową zbliżone do narzędzia (N1), jednak zostało ono wydłużone do 220 mm oraz posiada na całej długości gwint zewnętrzny M12 umożliwiający zamontowania dodatkowego obciążenia o wadze 500 g w postaci wałka z otworem przelotowym, wewnątrz gwintowanym M12 (rys.3b i 3c). Opisane rozwiązanie pozwala na regulowanie w jednej osi wartości współrzędnej środka ciężkości. Przy wałku przykręcono nakrętkę kontruującą, która eliminuje jego niekontrolowane przemieszczanie. Masa narzędzia wraz z kołnierzem to w przybliżeniu 0,3 kg, natomiast z obciążeniem wynosi 0,8 kg. Współrzędne środka ciężkości odczytano w programie NX dla wariantu bez obciążenia oraz z obciążeniem.

Narzędzie trzecie (N3) składa się chwytaka pneumatycznego oraz szczęk i kołnierza wykonanych w technologii druku 3D (rys.3d). Całość stabilnie przykręcona jest do flanszy robota. Waga narzędzia to w przybliżeniu 0,5 kg. Współrzędne środka ciężkości odczytane zostały w programie NX.



Rysunek 3. Zastosowane narzędzia na robocie przemysłowym: a) pierwsze narzędzie N1, b) drugie narzędzie N2, c) drugie narzędzie N2 z obciążeniem 500g, d) trzecie narzędzie N3.

5. Badania

Badania zostały podzielone na trzy scenariusze, w których użyto trzy różne oprzyrządowania zamontowane na kiści robota. Pierwsze oraz drugie narzędzie wykorzystano na dwóch obiektach pomiarowych, gdzie ukazano różnice w odczytach parametrów wynikających z ich budowy. Trzecie narzędzie przeznaczone zostało do pracy na trzecim obiekcie pomiarowym, gdzie ruch robota charakteryzuje się innym działaniem od pozostałych scenariuszy.

Badanie pierwsze (Rys. 4) wykazało zależność między prędkością najazdu, a siłą nacisku. Zmniejszając prędkość dla poszczególnych przejazdów wykonanych na obiekcie pomiarowym 1, o tych samych parametrach wzmocnienia serwonapędu, wartość siły nacisku odczytanej z tensometru była coraz mniejsza. Istotną również jest zależność masy narzędzia od siły nacisku oraz wpływ kompensacji grawitacyjnej. Redukując masę odpowiednią instrukcją, pomiary dla narzędzi N2: 0,3kg oraz N2: 0,8kg uzyskano zbliżone, w granicy błędu pomiarowego. Zastosowanie kompensacji grawitacyjnej wykazało poprawne działanie instrukcji, ponieważ wykonano również pomiar dla obciążonego narzędzia, które nie zostało uwzględnione w instrukcji SAGRAV a zarejestrowany nacisk się zwiększył. Dla wykonanych badań przy ruchu narzędzia w orientacji pionowej wartości siły nacisku są wyższe niż w przypadku poziomej.

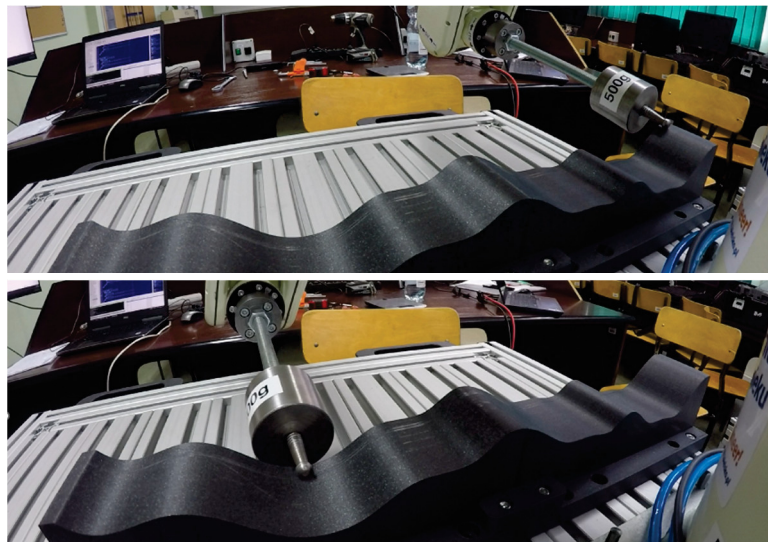
Tabela 2. Wyniki dla obiektu pomiarowego 1 i narzędzi 1 i 2

	Parametry instrukcji SAGAIN						Parametry instrukcji SAGRAV		Parametry instrukcji SAVDRAW/SATVRAW	Ustawienia dla ruchów robota przemysłowego		Wartości odczytane z tensometru	
	Oś 1	Oś 2	Oś 3	Oś 4	Oś 5	Oś 6	Masa [kg]	Oś Z	Prędkość ruchu w osi [mm/s]	Układ współ. dla funkcji soft absorber	Orientacja najazdu narzędzia	Siła nacisku podczas zjazdu narzędzia [N]	Maks. siła nacisku w dolnym punkcie obiektu pomiar. [N]
Obiekt pomiarowy 1, Narzędzie 1													
1	100	80	50	100	50	100	0,3	28	oś -Z: 50	base	pionowa	od 11 do 13	522,29
2	100	80	50	100	50	100	0,3	28	oś -Z: 40	base	pionowa	od 10 do 12	384,36
3	100	80	50	100	50	100	0,3	28	oś -Z: 30	base	pionowa	od 8 do 10	296,28
4	100	80	50	100	50	100	0,3	28	oś -Z: 20	base	pionowa	od 7 do 9	152,75
Obiekt pomiarowy 1, Narzędzie 2													
1	100	80	60	100	50	100	0,3	80	oś -Z: 30	base	pionowa	od 4 do 5	95,10
2	100	80	60	100	50	100	0,8	110	oś -Z: 30	base	pionowa	od 4 do 5	94,09
3	100	90	70	100	50	100	0,3	80	oś Z: 30	tool	pionowa	od 3 do 4	119,25
4	100	90	70	100	50	100	0,8	110	oś Z: 30	tool	pionowa	od 3 do 4	119,93
5	100	90	70	100	50	100	0,3	80	oś -Y: 30	tool	pozioma	od 4 do 5	22,20
6	100	90	70	100	50	100	0,3	80	oś -Y: 30	tool	pozioma	od 7 do 9	27,69



Rysunek 4. Badania układu detekcji sił zewnętrznych wg. pierwszego typu badań

Drugie badanie tylko częściowo spełniło założony cel, ponieważ bez względu na parametry robot z zamontowanym N1 nie był w stanie wykonać płynnego przejazdu po całej długości powierzchni falistej na drugim obiekcie pomiarowym. Wynika to z ułożenia ramienia oraz niskiej masy pierwszego narzędzia. Narzędzie posiadało zbyt niską masę, wraz ze zwiększeniem masy uzyskanej przy użyciu N2: 0,8kg, przejazd wyglądał zdecydowanie lepiej, jednak miejscami narzędzie odrywało się od powierzchni. Odpowiedni dobór parametrów oraz przesunięcie pozycji środka ciężkości N2 skutkowało płynnym ruchem narzędzia po całej długości obiektu pomiarowego. Dla uzyskania najlepszej trajektorii kluczowa okazała się zależność między parametrami wzmocnienia serwonapędów, prędkością ruchu danej osi układu współrzędnych oraz masą narzędzia.

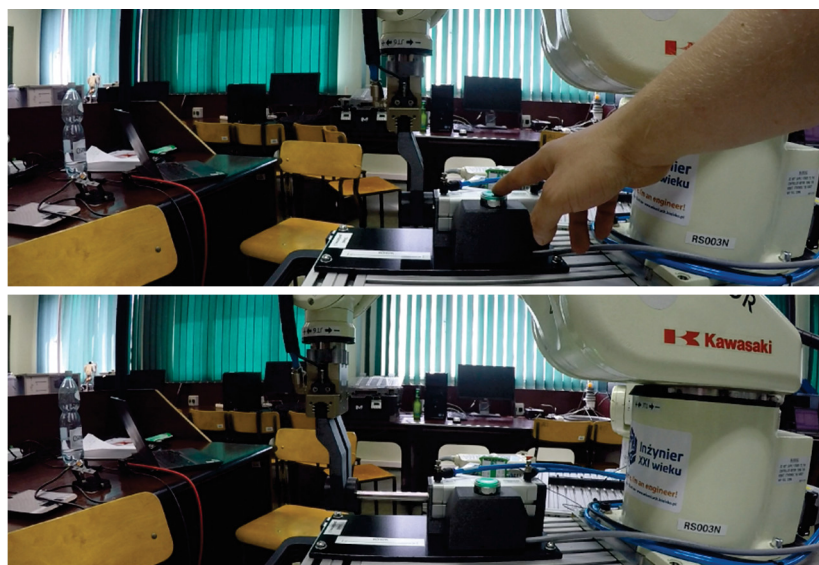


Rysunek 5. Drugi scenariusz badań, dokładny przejazd po nieznannej trajektorii falistej

Tabela 3. Wyniki dla obiektu pomiarowego 2 i narzędzi 1 i 2

	Parametry instrukcji SAGAIN						Parametry instrukcji SAGRAV				Parametry instrukcji SAVDRAW
	Oś 1	Oś 2	Oś 3	Oś 4	Oś 5	Oś 6	Masa [kg]	Oś X	Oś Y	Oś Z	Prędkość ruchu w osi [mm/s]
Obiekt pomiarowy 2, Narzędzie 1											
1	80	60	50	100	2	100	0,3	0	0	28	oś -X: 50
2	100	60	50	80	10	100	0,3	0	0	28	oś -X: 50
3	100	60	50	100	2	100	0,3	0	0	28	oś -X: 30
4	100	60	50	100	2	100	0,3	0	0	28	oś -X: 100
Obiekt pomiarowy 2, Narzędzie 2											
1	100	50	40	100	2	100	0,3	0	0	28	oś -X: 40
2	100	60	50	100	2	100	0,8	0	0	110	oś -X: 50
3	100	60	50	100	2	100	0,8	0	0	110	oś -X: 100
4	100	100	100	100	2	100	0,8	0	0	150	oś -X: 40

Trzecie badanie ukazało znaczenie parametrów instrukcji wzmocnienia serwonapędów przy ruchu całkowicie zależnym. Odpowiedni dobór skutkowało płynnym przesunięciem całego ramienia za pomocą siłownika pneumatycznego, gdzie osie robota nie wykonywały żadnej zadanej instrukcji ruchu, a mimo to nie stawały oporu siłom zewnętrznym.



Rysunek 6. Trzeci scenariusz, wymuszenie zewnętrzne siłownikiem pneumatycznym.

Tabela 4. Wyniki dla obiektu pomiarowego 3 i narzędzia 3

	Parametry instrukcji SAGAIN						Siłownik
	Oś 1	Oś 2	Oś 3	Oś 4	Oś 5	Oś 6	Wymuszona prędkość wysuwu siłownika [mm/s]
Obiekt pomiarowy 3, Narzędzie 3							
1	100	50	50	100	40	100	100
2	100	50	50	100	40	100	27
3	100	60	60	100	50	100	40

6. Podsumowanie i wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań wyznaczono, że największy wpływ na pracę systemu Soft Absorber ma instrukcja *SAGAIN*, ustawiająca wzmocnienie każdej osi robota. Należy ją dostosować do oddziałujących sił oraz ułożenia ramienia poprzez systematyczne wprowadzenie wartości i sprawdzanie efektu korekty. Drugą istotną funkcją jest *SAGRAV*, jednak ustawienie jej parametrów jest dużo prostsze choćby ze względu na znane wartości masy chwytaka lub chwytaka z obciążeniem.

Kolejnym ważnym aspektem mającym wpływ na konfigurację funkcji jest wielkość robota. Zastosowany w stanowisku robot o niskiej masie, małym udźwigu oraz niewielkich gabarytach posiada taki sam zestaw parametrów bezwymiarowych w przypadku instrukcji *SAGAIN* jak robot np. o udźwigu 200 kg i zasięgu 2,6 m. Niemniej jednak ogólna zasada działania funkcji, wymuszenia siłowe oraz wpływ parametrów na badanym stanowisku zostały zachowane, umożliwiając analizę pełnego wachlarza wniosków przybliżających zasady poprawnego korzystania z wyżej omawianej funkcji. Należy jednak pamiętać, że funkcja Soft Absorber wymaga indywidualnej adaptacji dla konkretnego rozwiązania inżynierskiego.

LITERATURA

1. SZELERSKI M. W.: Robotyka przemysłowa. Teoria, budowa, eksploatacja, Wydawnictwo KaBe, Krosno 2019.
2. KNOSALA R.: Inżynieria produkcji, kompendium wiedzy, PWE, Warszawa, 2017.
3. FIDALI M.: Metody diagnostyki maszyn i urządzeń w predykcijnym utrzymaniu ruchu, Elamed Media Group, Katowice, 2020.
4. Kawasaki Heavy Industries, Ltd, Soft Absorber Function Manual, Kawasaki Robot Controller D/E Series, 90210-1178 DED, 4th Edition, 2009.
5. Kawasaki Heavy Industries, Ltd, Kawasaki Robot RS03N, Installation and Connection Manual, 90202-143DEB, 2nd Edition, 2018.
6. Kawasaki Heavy Industries, Standard Specifications RS003N-A, 90151-0095DEC, 3rd Edition, 2020.
7. Kawasaki Heavy Industries, Kawasaki Robot Controller F Series, Installation and Connection Manual, 90202-1183DEB, 2nd Edition, 2017.
8. HBM, C9C Mounting Instructions, A03729_03_YI0_01 7-0111.0009: public, 2020.