

Jacek BERNADZIK¹, Arkadiusz TRĄBKA

Opiekun naukowy: Arkadiusz TRĄBKA²

ZASTOSOWANIE INTERFEJSU PROGRAMÓW MSC.ADAMS I MATLAB DO STEROWANIA MODELEM SYMULACYJNYM LEKKIEJ SUWNICY POMOSTOWEJ

Streszczenie: Przedstawiono model symulacyjny lekkiej suwnicy pomostowej, który opracowano w programie MSC.ADAMS na podstawie modelu geometrycznego wykonanego przy użyciu programu Autodesk Inventor. Model symulacyjny połączono z modelem układu regulacji, który zaprojektowano przy użyciu programu MATLAB/Simulink. Omówiono zasady postępowania stosowane podczas projektowania układu regulacji oraz doboru nastaw regulatorów. Poprawność działania układu regulacji sprawdzono wykonując testy symulacyjne przenoszenia ładunku pomiędzy wybranymi punktami.

Słowa kluczowe: suwnica pomostowa, model geometryczny, model symulacyjny, układ regulacji

APPLICATION OF MSC.ADAMS AND MATLAB INTERFACE FOR CONTROLLING A SIMULATION MODEL OF A LIGHT OVERHEAD CRANE

Summary: A simulation model of a light overhead crane, which was developed in MSC.ADAMS on the basis of a geometric model made with the use of Autodesk Inventor, was presented. The simulation model was combined with the model of the control system, which was designed with the use of MATLAB/Simulink software. The principles used in the design of the control system and the selection of controllers settings were discussed. The correctness of the control system was verified by performing simulation tests of load transfer between selected points.

Keywords: overhead crane, geometrical model, simulation model, control system

¹ Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Automatyka i Robotyka, email: bernadzikj@interia.pl

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

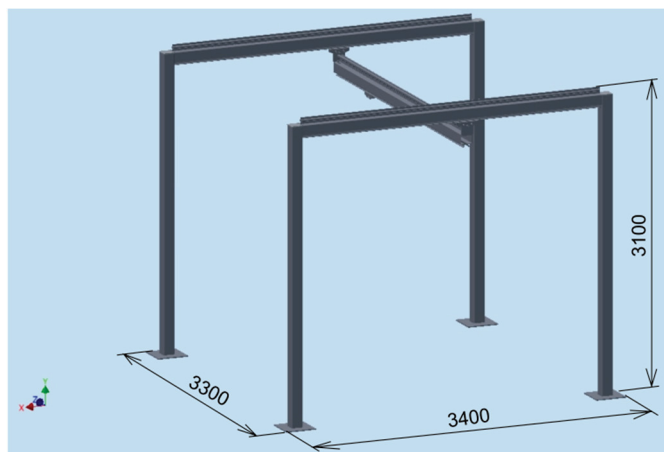
1. Wprowadzenie

Suwnice pomostowe to urządzenia transportu bliskiego, których używa się w zakładach produkcyjnych do przenoszenia ciężkich ładunków. Aby przemieszczanie ładunków przy użyciu suwnic nie powodowało wydłużenia procesu produkcji, operatorom tych urządzeń stawia się coraz to większe wymagania dotyczące czasu realizacji powierzanych im zadań. Chcąc przemieścić ładunek w możliwie najkrótszym czasie, operatorzy muszą stosować coraz to większe prędkości ruchu. To z kolei prowadzi do zwiększenia kołysania ładunku, w konsekwencji utrudniając, a czasami nawet uniemożliwiając posadowienie go w wymaganym miejscu. Ponadto, gdy ładunek lub znajdujące się w jego pobliżu obiekty są niebezpieczne lub delikatne, kołysanie ładunku może stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa [1]. Biorąc pod uwagę powyższe czynniki coraz częściej pracę operatorów wspomaga się automatycznymi systemami ograniczającymi kołysanie ładunku [2-9]. Pomimo implementacji układów wspomagających pracę operatorów suwnic, osiągnięte wyniki, pod względem szybkości pracy i bezpieczeństwa, w dalszym ciągu, w dużej mierze zależą jednak od ich doświadczenia i umiejętności. Z tego powodu rośnie zainteresowanie projektowaniem automatycznych systemów sterowania suwnicami [10, 11].

Zarówno w pełni automatyczne systemy sterowania suwnicami, jak i systemy wspomagające operatorów w ograniczeniu wahań ładunku projektuje się, a następnie sprawdza ich skuteczność, na podstawie analizy numerycznej modeli obliczeniowych [12]. W niniejszej pracy za cel przyjęto wykonanie modelu symulacyjnego suwnicy pomostowej, opracowanie modelu układu regulacji jej ruchami roboczymi oraz przeprowadzenie testów numerycznych sterowania modelem symulacyjnym suwnicy.

2. Model geometryczny suwnicy

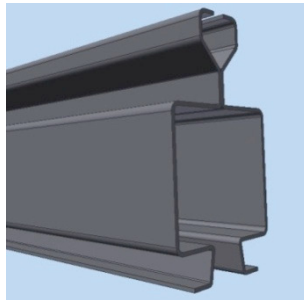
Model geometryczny suwnicy został wykonany w programie Autodesk Inventor (rys. 1).



Rysunek 1. Model geometryczny lekkiej suwnicy pomostowej

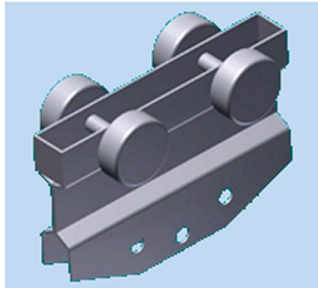
Jako podstawę do opracowania modelu geometrycznego przyjęto konstrukcję lekkiej suwnicy pomostowej "HB Systems" produkowanej przez firmę ABUS [13], której masa wraz z jednostkami napędowymi i wciągarką wynosi 470 kg, udźwig 1000 kg. W modelu geometrycznym odwzorowano wyłącznie główne elementy konstrukcyjne, tj. wózek wciągarki, dźwigar z wieszakami i wózkami jezdnymi, belki podsuwnicowe oraz podpierające je stojaki. Pominięto natomiast elementy osprzętu elektrycznego, ciągną, itp.

Dźwigar (most), a także belki podsuwnicowe zamodelowano jako profile składające się z dwóch zespalanych ze sobą walcowanych na zimno elementów (rys. 2).

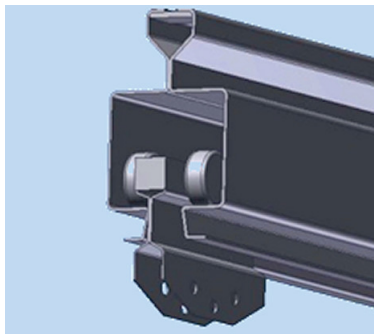


Rysunek 2. Model geometryczny dźwigara

W modelu geometrycznym wózka wciągarki (rys. 3) uwzględniono korpus oraz dwa zestawy rolek, za pośrednictwem których porusza się on wzdłuż dźwigara (rys. 4).

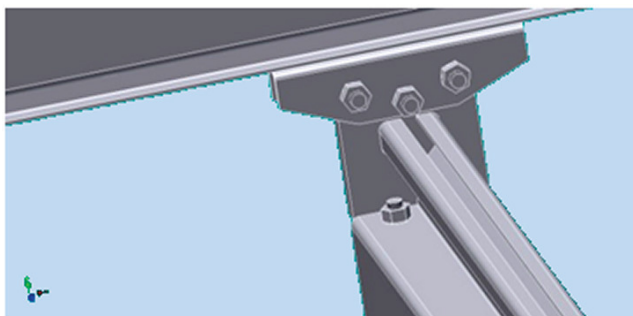


Rysunek 3. Model geometryczny wózka wciągarki



Rysunek 4. Wózek wciągarki umieszczony wewnątrz dźwigara

W rzeczywistej konstrukcji do dolnej części wózka jest przymocowana wciągarka, a sam wózek wprawiany jest w ruch silnikiem elektrycznym. Połączenie dźwigara z belkami podsuwnicowymi zrealizowano przy użyciu wieszaków oraz wózków jezdnych o takiej samej konstrukcji, jaką zastosowano dla podwieszenia wciągarki (rys. 5).

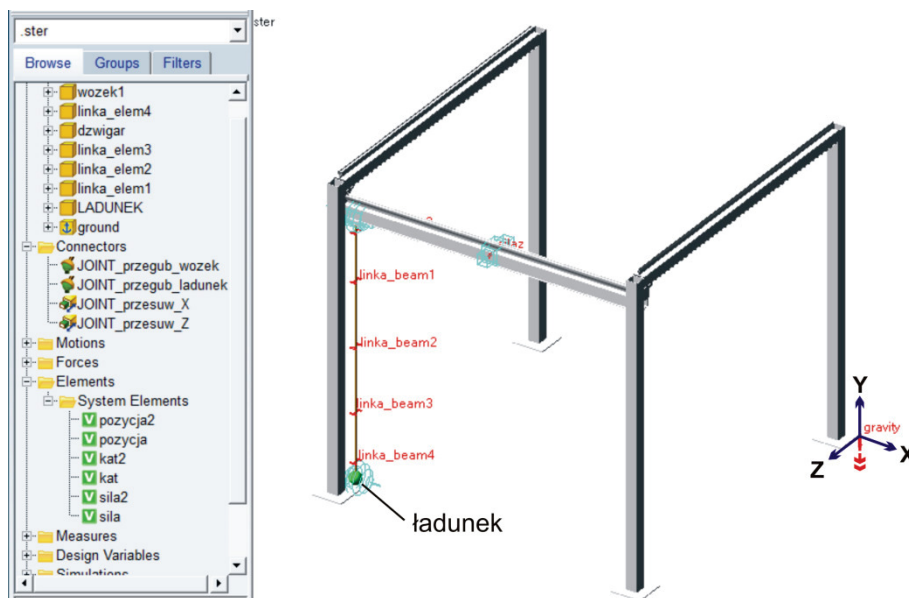


Rysunek 5. Wieszak w połączeniu dźwigara z belkami podsuwnicowymi

Każdą z belek podsuwnicowych podparto dwoma stojakami.

3. Model symulacyjny i model układu regulacji ruchami roboczymi suwnicy

Model symulacyjny (rys. 6) opracowano w programie MSC.ADAMS na podstawie zaimportowanych z programu Autodesk Inventor modeli geometrycznych członów.



Rysunek 6. Model symulacyjny suwnicy pomostowej

Modele te połączone w pary kinematyczne przy użyciu wiązań zapewniających odwzorowanie rzeczywistej ruchliwości członów.

Połączenie wózka wciągarki z ładunkiem, który zamodelowano jako nieodkształcalną bryłę w kształcie kuli, zrealizowano narzędziem *Discrete Flexible Link*. Przy jego użyciu zdefiniowano cztero-segmentowe złącze podatne, modelujące linę jako szereg połączonych ze sobą odkształcalnych elementów skończonych, które następnie powiązano z wózkiem oraz ładunkiem przy użyciu par kinematycznych o postaci przegubów kulistych (rys. 6).

Opracowując model symulacyjny suwnicy przyjęto następujące założenia upraszczające [14]:

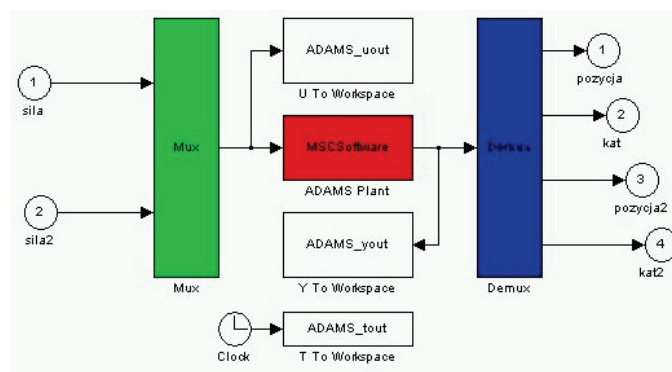
- wszystkie człony, za wyjątkiem liny, potraktowano jako idealnie sztywne,
- pominięto luzy i tarcie w połączeniach członów,
- pominięto oddziaływania zewnętrzne typu parcie wiatru, zmiany temperatury, występowanie dodatkowych sił zewnętrznych.

Podparcie modelu zrealizowano poprzez odebranie wszystkich stopni swobody w miejscu połączenia stojaków z podłożem.

Ruch wózka i dźwigara wymuszano poprzez przyłożenie wektorów sił do powyższych elementów.

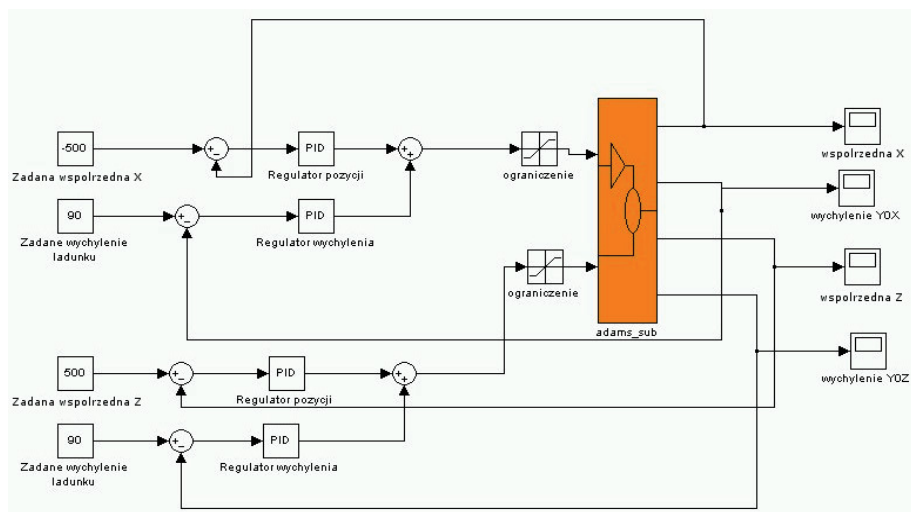
Wartości sił wyznaczano w układzie regulacji, w programie MATLAB/Simulink, na podstawie rejestrowanych w programie MSC.ADAMS wielkości, takich jak: przemieszczenie wózka w kierunku osi X, przemieszczenie dźwigara w kierunku osi Z oraz wychylenie kątowe ładunku w płaszczyznach XY i ZY.

Za podstawę do opracowania modelu układu regulacji przyjęto blok "adams_sub" (rys. 7), który zawiera zarówno model dynamiczny suwnicy (blok "ADAMS Plant"), jak i wszystkie zdefiniowane w programie MSC.ADAMS sygnały wejściowe do modelu symulacyjnego (sila, sila2) i wyjściowe z tego modelu (pozycja, kat, pozycja2, kat2). Blok "adams_sub" aktywowano wpisując w głównym oknie programu MATLAB polecenie "adams_sys".



Rysunek 7. Struktura bloku "adams_sub"

Model układu regulacji (rys. 8) opracowano w oparciu o zasadę zadawania pożądanych wartości sygnałów i porównywania ich z sygnałami zwrotnymi odczytanymi z modelu symulacyjnego.



Rysunek 8. Schemat blokowy modelu układu regulacji ruchami roboczymi suwnicy opracowany w środowisku programu MATLAB/Simulink

Sygnaly wyjściowe z zaprojektowanego układu regulacji, stanowiące zarazem wejścia do modelu symulacyjnego, reprezentowanego na rys. 8 blokiem wykonawczym "adams_sub", wyznaczano przy użyciu regulatorów proporcjonalno-całkująco-różniczkujących (PID). Przykładowo dla przemieszczenia ładunku w kierunku osi X, realizowanego poprzez ruch wózka, od zadanej współrzędnej X odejmowana jest bieżąca wartość tej współrzędnej. Następnie różnica ta przekazywana jest na wejście regulatora PID nazwanego regulatorem pozycji. Podobnie jest z pętlą zawierającą regulator wychylenia. Zadana wartość 90° to wartość kąta, który powinna tworzyć lina z dźwigarem. Od tej wartości odejmowana jest bieżąca wartość kąta mierzona na modelu symulacyjnym. Różnica ta trafia na wejście regulatora PID wychylenia, a z jego wyjścia na sumator, gdzie dodawane są do siebie wartości z obu regulatorów, tzn. z regulatora pozycji oraz z regulatora wychylenia. Wartość sumy zostaje ograniczona przez blok "saturation", a następnie jako sygnał "sila" trafia na wejście bloku wykonawczego "adams_sub".

Nastawy regulatorów PID, tzn. wartości współczynników wzmocnienia dla członów, odpowiednio proporcjonalnego, całkującego oraz różniczkującego, dobrano metodą prób i błędów. W pierwszej kolejności, przy nieruchomym dźwigarze i odłączonym regulatorze wychylenia dokonano doboru nastaw dla regulatora pozycji wózka, po czym aktywowano regulator wychylenia i dobrano jego nastawy tak, aby w jak największym stopniu zredukować wahania ładunku. Czynności powyższe powtórzono następnie przy nieruchomym wózku podczas doboru nastaw regulatora pozycji dźwigara oraz drugiego z regulatorów wychylenia. W oparciu o tak dobrane nastawy regulatorów PID przeprowadzono testy numeryczne zaprojektowanego układu regulacji.

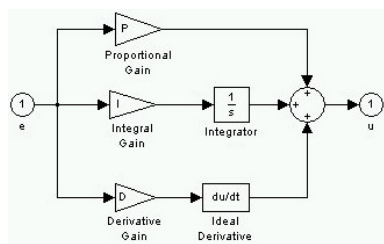
Stwierdzono, że przy równoczesnym działaniu wszystkich regulatorów trajektoria ładunku oraz wózka nie pokrywają się, a ponadto wraz z upływem czasu nasilają się wahania ładunku, wpływając zarazem na zakłócenie trajektorii ruchu wózka (rys. 9).



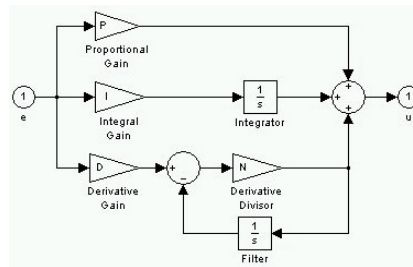
Rysunek 9. Trajektorie ruchu ładunku i wózka otrzymane podczas testów numerycznych układu regulacji zawierającego wyłącznie standardowe regulatory PID

Ponieważ kolejne zmiany nastaw regulatorów PID w tym układzie nie przynosiły pożądanych efektów, aby wyłumić wahania, standardowe regulatory wychylenia (rys. 10a) zastąpiono regulatorami z przybliżoną pochodną, które posiadają w członie różniczkującym dodatkowo człon całkujący w sprzężeniu zwrotnym (rys. 10b).

a)

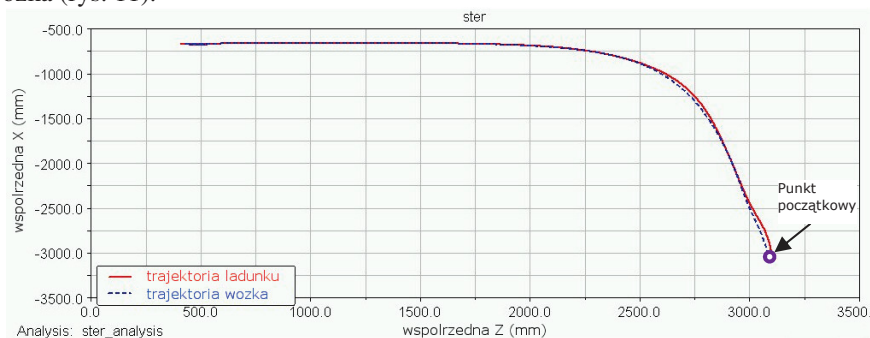


b)



Rysunek 10. Schemat regulatora PID: a) standardowy, b) z przybliżoną pochodną

Dobierając takie same nastawy jak dla standardowych regulatorów PID otrzymano niemal idealnie pokrywające się i pozbawione wahań trajektorie ruchu ładunku oraz wózka (rys. 11).

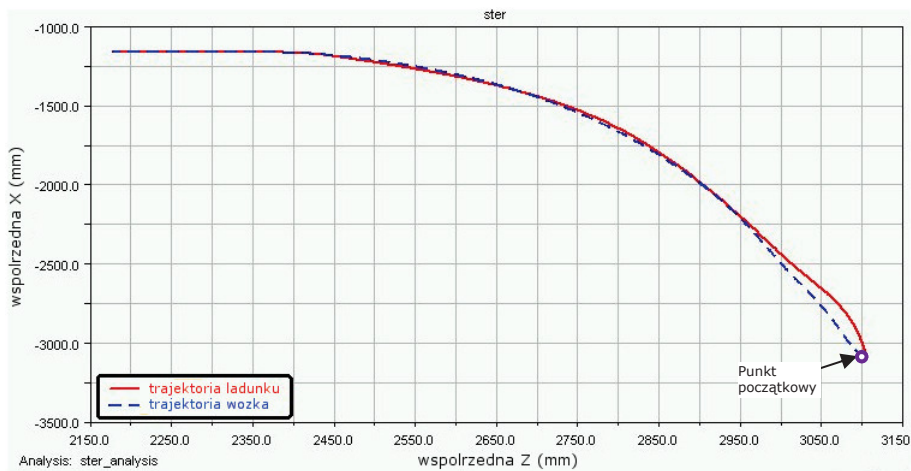


Rysunek 11. Trajektorie ruchu ładunku i wózka dla układu regulacji, w którym standardowe regulatory wychylenia zastąpiono regulatorami z przybliżoną pochodną

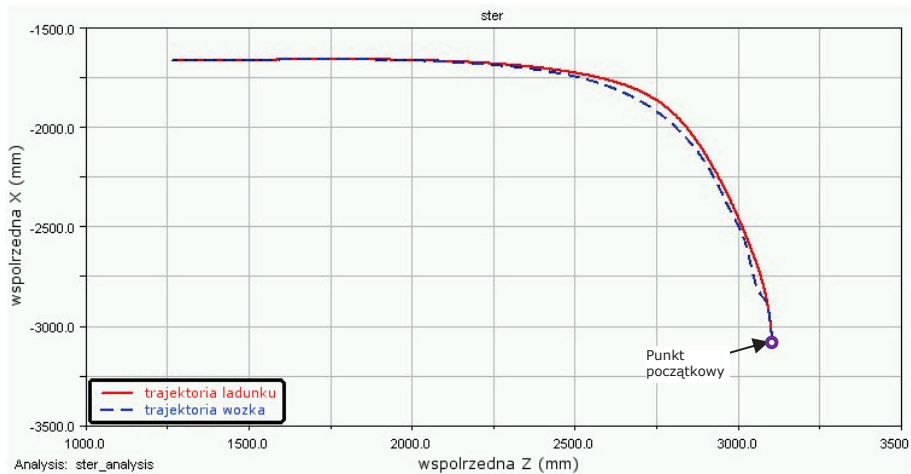
Dla tak dobranego układu regulacji przeprowadzono testy numeryczne przenoszenia ładunku z punktu o współrzędnych $X = -3075$ mm, $Z = 3100$ mm do trzech losowo wybranych punktów:

- punktu pierwszego o współrzędnych: $X = -1100$ mm, $Z = 2200$ mm (rys. 12),
- punktu drugiego o współrzędnych: $X = -1600$ mm, $Z = 1300$ mm (rys. 13),
- punktu trzeciego o współrzędnych: $X = -2800$ mm, $Z = 800$ mm (rys. 14).

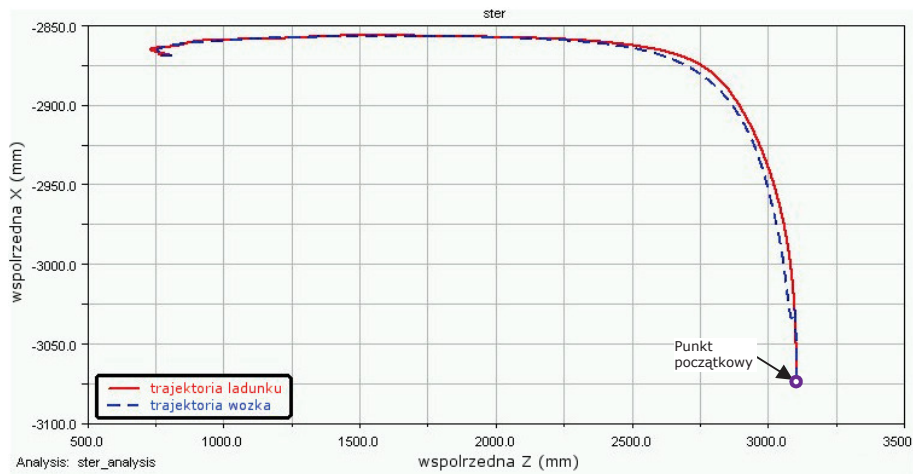
Analizy wykonywano dla liny o długości 2560 mm i ładunku o masie 25 kg.



Rysunek 12. Trajektoria ruchu ładunku i wózka dla pierwszego punktu docelowego



Rysunek 13. Trajektoria ruchu ładunku i wózka dla drugiego punktu docelowego



Rysunek 14. Trajektoria ruchu ładunku i wózka dla trzeciego punktu docelowego

Stwierdzono, że zaprojektowany układ regulacji pozwala na pozbawione zakłóceń przeniesienie ładunku z punktu początkowego do dowolnie wybranego punktu docelowego, ale odbywa się to bez możliwości wpływu na trajektorię, po której ładunek jest przemieszczany.

4. Podsumowanie i wnioski

W pracy przedstawiono model symulacyjny suwnicy pomostowej, który opracowano w programie MSC.ADAMS. Za podstawę do opracowania modelu symulacyjnego przyjęto model geometryczny, który wykonano przy użyciu programu Autodesk Inventor na podstawie konstrukcji lekkiej suwnicy pomostowej "HB Systems" produkowanej przez firmę ABUS. Model symulacyjny połączono z modelem układu regulacji, który zaprojektowano przy użyciu programu MATLAB/Simulink. Szczegółowo omówiono zasady postępowania stosowane podczas projektowania układu regulacji, a następnie wyjaśniono w jaki sposób przeprowadzono dobór nastaw regulatorów PID. Poprawność działania zaprojektowanego układu regulacji sprawdzono wykonując testy symulacyjne przenoszenia ładunku pomiędzy wybranymi punktami.

W pracy przyjęto koncepcję układu regulacji, którego działanie pozwala na przemieszczenie ładunku do wskazanego miejsca docelowego, ale bez możliwości wpływu na trajektorię, po której ładunek jest przemieszczany. W praktyce dużym udogodnieniem byłoby poruszanie się ładunku po określonym torze. Aby uzyskać możliwość odwzorowywania zadanych trajektorii ruchu, zamiast zadawania wartości współrzędnych docelowych, powinno użyć się funkcji liniowej, w celu wyznaczenia określonego toru ruchu. Rozwiązanie to mogłoby zniwelować w większym stopniu zakłócenia w ruchu ładunku, ponieważ cały tor ruchu byłby podzielony na krótkie odcinki, a co za tym idzie, do regulatora trafiałyby mniejsze wartości, łatwiejsze do regulacji.

Największą trudność w realizacji celu pracy stanowiło takie dobranie nastaw regulatorów PID, aby ruch ładunku odbywał się w sposób niezakłócony, a w punkcie docelowym nie występowały jego oscylacje. Zadanie to zrealizowano stosując podejście polegające na wykonaniu szeregu prób, podczas których zmieniano wartości współczynników wzmocnienia dla członów regulatorów, odpowiednio proporcjonalnego, całkującego i różniczkującego. Z uwagi na to, iż po skojarzeniu ruchu wózka wciągarki z ruchem dźwigara wystąpiły wahania ładunku oraz zakłócenia w trajektorii ruchu wózka, aby poprawić działanie układu regulacji standardowe regulatory wychylenia zastąpiono regulatorami z przybliżoną pochodną, które posiadają w członie różniczkującym dodatkowo człon całkujący w sprzężeniu zwrotnym.

LITERATURA

1. KHALID A., SINGHOSE W., HUEY J., LAWRENCE J.: Study of operator behavior, learning and performance using an input-shaped bridge crane. In Proceedings of the conference on control applications, Taipei, Taiwan (2004).
2. TANAKA S., TANAKA M., KAMACHI K., KOUNO S.: Automatic attitude measurement for crane lifters. *Trans. Soc. Instr. Control Eng.*, 30 (1994) 1512-1520.
3. TANAKA S., KOUNO S.: Automatic measurement and control of the attitude of crane lifters. *Lifter-attitude measurement and control. Control Engineering Practice*, 6 (1998) 1099-1107.
4. YANG J.H., YANG K.S.: Adaptive coupling control for overhead crane systems. *Mechatronics*, 17 (2007) 143-152.
5. LIU D., YI J., ZHAO D., WANG W.: Adaptive sliding mode fuzzy control for a two-dimensional overhead crane. *Mechatronics*, 15 (2005) 505-522.
6. CHENG C.C., CHEN C.Y.: Controller design for an overhead crane system with uncertainty. *Control Engineering Practice*, 4 (1996) 645-653.
7. CHANG C.Y., CHIANG K.H.: Fuzzy projection control law and its application to the overhead crane. *Mechatronics*, 18 (2008) 607-615.
8. SORENSEN K.L., SINGHOSE W., DICKERSON S.: A controller enabling precise positioning and sway reduction in bridge and gantry cranes. *Control Engineering Practice*, 15 (2007) 825-837.
9. YI J., YUBAZAKI N., HIROTA K.: Anti-swing and positioning control of overhead traveling crane. *Information Sciences*, 155 (2003) 19-42.
10. ROSENFELD Y.: Automation of existing cranes: from concept to prototype. *Automation in Construction*, 4 (1995) 125-138.
11. SMOCZEK J., SZPYTKO J.: Sposoby sterowania zautomatyzowanymi pomostowymi suwnicami. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport*, 73 (2010) 95-104.
12. SMOCZEK J., SZPYTKO J.: Metodyka badań adaptacyjnych algorytmów sterowania ruchem suwnicy. *Przegląd Mechaniczny*, 6 (2008) 29-32.
13. Suwnice pomostowe ABUS: <https://www.abuscranes.pl/dzwignice/suwnice-pomostowe>, 18.01.2013.
14. BORKOWSKI W., KONOPKA S., PROCHOWSKI L.: *Dynamika maszyn roboczych*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1996.