

Zastosowanie wirtualnego prototypowania w ocenie algorytmu sterowania przenośnika zgrzeblowego

Streszczenie

W artykule przedstawiono metodę tworzenia wirtualnych prototypów maszyn górniczych i ich systemów sterowania, z zastosowaniem metody kinematyki i dynamiki układów wielocłonowych MBS (ang. Multibody Systems). Dane wejściowe (warunki brzegowe) do modelu fizycznego modyfikowano za pomocą programu emulującego układ sterowania zgodnie z założonym algorytmem. Symulację przedstawiono na przykładzie innowacyjnej wersji przenośnika zgrzeblowego z nadążnym systemem regulacji parametrów pracy napędów. Na podstawie symulacji możliwe jest wyznaczenie zmienności sił w łańcuchu, momentów sił w układach napędowych przenośnika oraz weryfikacja poprawności działania układu sterowania.

Summary

Method for creation of virtual prototypes of mining machines and their control systems, using the Multibody Systems (MBS) kinematics and dynamics method, is presented. Input data (boundary conditions) for physical model were modified with use of the programme emulating control system according to the assumed algorithm. The simulation is presented on the example of innovative version of flight-bar conveyor with follow-up system for control of operational parameters of the drives. Determination of variability of forces in chain, moments of forces in drive systems of conveyor and verification of correctness of operation of the control system are possible on the basis of the simulation.

1. Wprowadzenie

Wzrost długości przenośników zgrzeblowych oraz mocy silników napędzających te przenośniki, zwiększa znaczenie niekorzystnych zjawisk dynamicznych występujących w stanie pracy przenośnika. Do niepożądanych zjawisk dynamicznych, uzależnionych w dużej mierze od długości przenośnika, zaliczyć należy m.in. sprężyste wydłużenia łańcucha zgrzeblowego w wyniku obciążenia jego górnej nitki urobkiem, a także związaną z tym nierównomierność obciążeń silników elektrycznych. Zjawiska związane ze sprężystymi wydłużeniami łańcucha zgrzeblowego sprzyjają powstawaniu znacznych luzów w łańcuchu w określonych miejscach przenośnika oraz nadmiernemu napięciu łańcucha w innych miejscach przenośnika, które mogą prowadzić do nieprawidłowych stanów pracy przenośnika, będących przyczyną przedwczesnego zużywania się podzespołów przenośnika lub jego awarii. W celu redukcji niepożądanych zjawisk dynamicznych oraz w celu optymalizacji pracy przenośnika zgrzeblowego niezbędny staje się system regulacji i sterowania dążący do wyrównania obciążeń silników napędowych oraz zapobiegania powstawania nadmiernych luzów czy napięć łańcucha zgrzeblowego. Opracowanie takiego systemu podjęto w projekcie badawczym w ramach inicjatywy Innotech o akronimie ICON. Projekt jest koordynowany przez Instytut Techniki Górniczej KOMAG. Jednym z zadań wspomnianego projektu było opracowanie metody służącej do testowania i weryfikacji algorytmów

sterowania przenośnikiem zgrzeblowym. Wirtualne prototypowanie maszyn i urządzeń wraz z układami sterowania pozwala na analizę algorytmu sterowania jeszcze na etapie projektowania maszyny i przed wykonaniem prototypu. Pozwala to na kompleksową ocenę przyszłej maszyny, przy znacznym ograniczeniu kosztów związanych z badaniem prototypów materialnych. Opracowana w Laboratorium Metod Modelowania i Ergonomii metoda oparta jest na możliwości połączenia dwóch środowisk programowych dzięki czemu możliwe jest sterowanie wirtualnym modelem przenośnika zgrzeblowego, poprzez analizę jego aktualnego stanu pracy i wprowadzaniu niezbędnych zmian w wartościach sygnałów sterujących pracą maszyny [3, 4, 5].

2. Model fizyczny przenośnika zgrzeblowego

Na potrzeby przeprowadzenia analiz numerycznych na podstawie rysunków konstrukcyjnych zbudowano bardzo uproszczony parametryczny model przenośnika zgrzeblowego (rys. 1).



Rys.1. Uproszczony model geometryczny przenośnika zgrzeblowego [4]

Przenośnik zgrzeblowy z punktu widzenia analiz numerycznych jest bardzo złożonym układem połączonych ze sobą brył. W celu minimalizacji

możliwości powstania błędów numerycznych oraz w celu skrócenia czasu obliczeń model geometryczny przenośnika uproszczono. Pominięto niewidoczne i mające nieistotny wpływ na zjawiska dynamiczne elementy, pozostawiając jedynie zarys konturów rynien, bębnow łańcuchowych, zastosowanych czujników oraz łańcucha zgrzeblowego. Do głównych uproszczeń modelu fizycznego zaliczyć należy: zastąpienie dwóch nitki łańcucha zgrzeblowego jedną nitką o zastępczych masach ogniwi i zgrzebeł, zmniejszenie rozstawu pomiędzy bębni łańcuchowymi do 20 m przy doborze właściwej sztywności zastępczej łańcucha. W związku z powyższym symulacja obejmowała model płaski. Fizyczny model przenośnika składał się z modelu geometrycznego wraz z więzami geometrycznymi oraz warunkami brzegowymi. Łącznie model tworzyło 155 brył sztywnych, 144 elementy sprężysto-tłumiące, 903 modele kontaktów, 6 definicji wektorów sił i momentów sił, 3 więzy obrotowe, 2 więzy przesuwne oraz 6 więzów utwierdzających. Model przenośnika zgrzeblowego posiadał 436 stopni swobody [4].

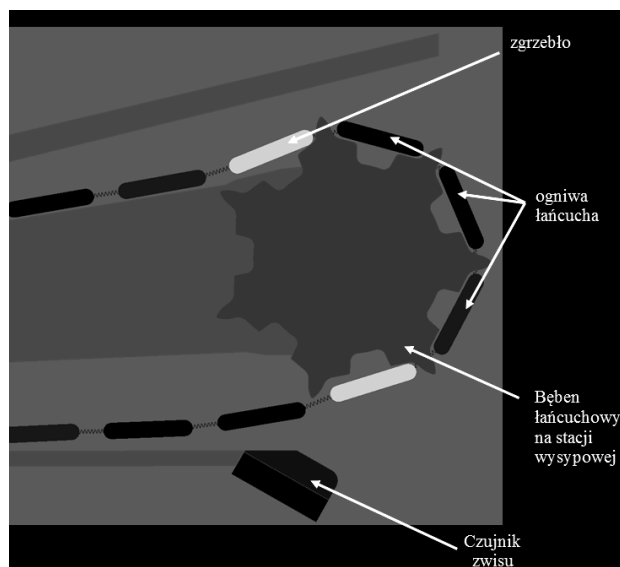
2.1. Modele stacji wysypowej i zwrotnej

W budowie modelu przenośnika bardzo istotne było przeanalizowanie procesu wżębiania i wyżębiania ogniwi łańcucha na bębnie łańcuchowym. Analiza ta pozwoliła zachować niezmienny charakter współpracy łańcucha z bębni łańcuchowym podczas wprowadzenia uproszczeń modelowych. Model obliczeniowy stacji wysypowej przenośnika przedstawiono na rysunku 2. Poza bębni łańcuchowym oraz współpracującym z nim łańcuchem zgrzeblowym, na stacji wysypowej utworzono model czujnika detekcji luzowania się łańcucha. W sytuacji luzowania się łańcucha na stacji wysypowej następuje kontakt ogniwa lub zgrzebła z czujnikiem, co skutkuje wygenerowaniem przez czujnik sygnału wysokiego. Przedstawiony czujnik jest czujnikiem dwustanowym wskazującym na obecność luzu bądź na jego brak [4].

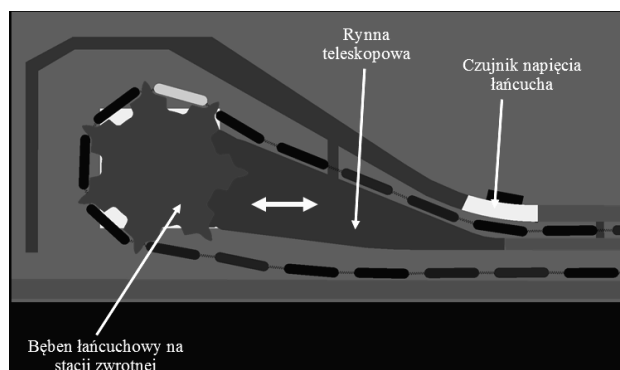
Model obliczeniowy stacji zwrotnej przenośnika zgrzeblowego przedstawiono na rysunku 3. Stacja zwrotna wyposażona jest w rynnę teleskopową umożliwiającą wydłużenie lub skrócenie przenośnika, co poprzez odpowiednie sterowanie pozwala na kompensację zmian długości łańcucha, wynikających z jego sprężystego wydłużenia. Na stacji zwrotnej zainstalowano model czujnika napięcia łańcucha zgrzeblowego. Zgrzebło przechodzące przez czujnik wywołuje nacisk z określoną siłą, co pozwala, poprzez przeliczenie odczytanej wartości, określić siłę napięcia w łańcuchu [4].

Dla bębnow łańcuchowych zarówno zwrotnego, jak i wysypowego obliczono zredukowane momenty bezwładności, obejmujące momenty bezwładności rzeczywistych bębnow łańcuchowych oraz momenty

bezwładności silnika napędowego, wraz z uwzględnieniem wpływu reduktora.



Rys.2. Model obliczeniowy stacji wysypowej przenośnika [4]

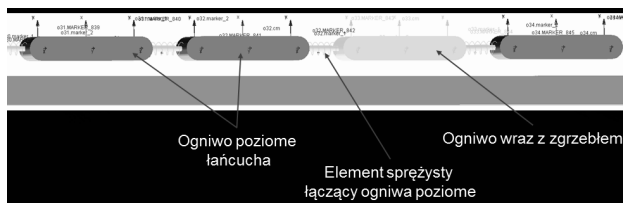


Rys.3. Model obliczeniowy stacji zwrotnej przenośnika zgrzeblowego [4]

2.2. Model obliczeniowy łańcucha

Na model obliczeniowy łańcucha zgrzeblowego składają się bryły sztywne, będące odwzorowaniem ogniwi poziomych łańcucha oraz elementy sprężysto-tłumiące łączące bryły sztywne, które odwzorowują ogniwa pionowe w łańcuchu, rysunek 4. Cechy geometryczne brył sztywnych odpowiadają ogniwiom łańcucha 42x146, tj. długości, wysokości i promieniowi zaokrąglenia. Sprężyste wydłużenia łańcucha w modelu przenośnika są wynikiem odkształcania się elementów sprężysto-tłumiących, łączących ogniwa poziome. Opracowany model obliczeniowy umożliwia przeprowadzenie analiz dla różnych długości przenośnika. Jest to możliwe poprzez wyznaczenie mas zastępczych ogniwi łańcucha oraz poprzez wyznaczenie sztywności zastępczej elementów sprężysto-tłumiących. Przy znanej długości przenośnika obliczana jest długość jednej nitki łańcucha zgrzeblowego. Następnie, na podstawie masy jednostkowej ogniwi obliczana jest masa całego łańcucha. W kolejnym kroku wyznaczana

jest masa zastępcza ogniwi na podstawie długości łańcucha oraz ilość brył sztywnych. Ponadto do ogniwi oznaczonych kolorem czerwonym dodawana jest masa zgrzebeł. W analogiczny sposób, znając obciążenie próbne oraz wydłużenie łańcucha, dla obciążenia próbnego wyznaczana jest sztywność łańcucha dla danej długości przenośnika zgrzeblowego, a następnie według dostępnych w literaturze wzorów obliczana jest sztywność zastępcza łańcucha w modelu obliczeniowym [1, 4].



Rys.4. Model łańcucha zgrzeblowego [opracowanie własne]

W celu możliwości analizy pracy przenośnika obciążonego transportowanym urobkiem zdefiniowano wektory sił dołączone do określonych zgrzebeł łańcucha. Wektory zdefiniowano w taki sposób, aby wybrane zgrzebła były dociskane do rynny przenośnika w momencie kiedy znajdują się w górnej nitce łańcucha. Wektor ponadto przemieszcza się wraz z modelem obciążonego zgrzebła, co umożliwi analizowanie wpływu zmienności obciążeń, wynikających z przemieszczania się urobku. Wartość wektora może być regulowana w trakcie symulacji, co pozwala na przeprowadzenie analizy odpowiadającej różnemu stopniu zasypania przenośnika urobkiem. W chwili zazębienia się obciążonego ogniwa z bębniem łańcuchowym wektor obciążenia jest zerowany, co odpowiada zrzuceniu urobku z przenośnika [4].

2.3. Modele kontaktów

Pomiędzy bryłami sztywnymi w opracowanym modelu zdefiniowano 903 modele kontaktu w oparciu o teorię Hertza. Główne założenia i uproszczenia tej teorii to:

- pominięcie siły adhezji, ciała pozostające w kontakcie można odseparować od siebie bez pokonywania sił adhezji,
- powierzchnie kontaktowe są ciągłe, a inicjacja kontaktu następuje w punkcie lub linii,
- naciski są na tyle niewielkie, że nie powodują odkształceń większych niż sprężyste,
- powierzchnia styku jest znacznie mniejsza niż promień charakterystyczny ciała,
- powierzchnie są idealnie gładkie i jedynie siła normalna oddziałuje na ciała w kontakcie.

Na wartości parametrów kontaktu mają wpływ: cechy geometryczne ciał wchodzących w kontakt, obciążenie oraz własności materiałowe ciał w kontakcie. Siła kontaktu to siła powstająca

w wirtualnej sprężynie znajdującej się pomiędzy ciałami w kontakcie zgodnie z zależnością [2, 6]:

$$F = \begin{cases} 0 & \text{if } x > x_1 \\ \max(k(x_1 - x)^e - c_{\max} \dot{x}, 0) & \text{if } x \leq x_1 \end{cases}$$

gdzie:

- x_1 – początkowa odległość wybranych punktów należących do brył w kontakcie (początkowa długość wirtualnej sprężyny w miejscu zetknięcia się powierzchni kontaktowych),
- x – odległość dwóch wybranych punktów należących do brył w kontakcie (chwilowa długość wirtualnej sprężyny związanej z możliwością chwilowego odkształcenia ciał w wyniku zderzenia),
- k – współczynnik sztywności wirtualnej sprężyny opisującej kontakt pomiędzy dwoma bryłami,
- c_{\max} – współczynnik tłumienia wirtualnej sprężyny zależny od głębokości penetracji ciał w kontakcie. Wartość początkowa współczynnika to 0, a wraz ze wzrostem głębokości penetracji brył następuje wzrost wartości współczynnika, aż do wartości maksymalnej założonej dla maksymalnej dopuszczalnej głębokości penetracji,
- \dot{x} – prędkość względna pomiędzy bryłami w kontakcie.

3. Model układu sterowania

3.1. Modele silników elektrycznych

Model silników elektrycznych opracowano w środowisku programowym MatLab/Simulink. Uwzględniono modele falowników służących do sterowania silnikami napędzającymi przenośnik. Danymi wejściowymi do modelu silnika elektrycznego są: informacja o prędkości obrotowej wału silnika oraz informacja o zadanej w falowniku częstotliwości napięcia zasilania. Jako wyjście z modelu otrzymuje się wartość momentu generowanego przez silnik na skutek jego obciążenia zgodnie z charakterystyką silnika dobranej do analizowanego przenośnika zgrzeblowego. Każdy silnik posiada oddzielny blok wraz z oddzielnym modelem falownika, dzięki czemu oba silniki (silnik na stacji wysypowej oraz silnik na stacji zwrotnej) pracować mogą niezależnie od siebie z różnymi parametrami pracy [3, 4].

3.2. Model algorytmu sterowania

Algorytm sterowania przenośnikiem zgrzeblowym na potrzeby analizy opracowano również w środowisku

MatLab/Simulink. Blok zawierający algorytm sterowania kontroluje pracę całego przenośnika poprzez sterowanie silnikami zasilającymi oraz sterowanie stopniem wysunięcia rynny teleskopowej. Sygnały wejściowe do bloku algorytmu to:

- obciążenie silnika na stacji wysypowej (poprzez moment napędowy na silniku),
- obciążenie silnika na stacji zwrotnej (poprzez moment napędowy na silniku),
- informacja o aktualnym stanie wysuwu rynny teleskopowej,
- sygnał z czujnika luzu łańcucha zgrzeblowego na wysypie (0/1),
- sygnał z czujnika napięcia łańcucha na zwrotni.

Na podstawie sygnałów wejściowych algorytm z założonym interwałem czasowym generuje sygnały wyjściowe będące dyspozycją do zmiany stanu pracy przenośnika. Do sygnałów wyjściowych z bloku algorytmu zaliczamy:

- sygnał dyspozycji rozsunięcia rynny teleskopowej (0/1),
- sygnał dyspozycji zsunięcia rynny teleskopowej (0/1),
- częstotliwość ustawienia falownika silnika na stacji wysypowej,
- częstotliwość ustawienia falownika silnika na stacji zwrotnej.

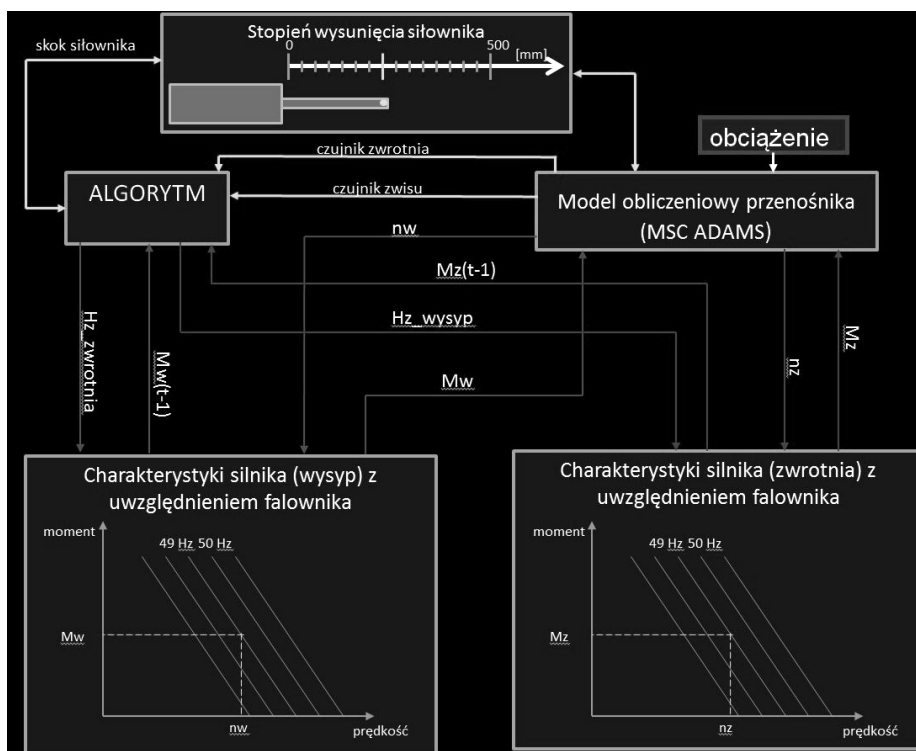
Celem układu sterowania jest wyrównanie obciążeń silników napędowych, minimalizacja zjawiska luzowania się łańcucha zgrzeblowego, zaburzającego płynność

pracy przenośnika. Ponadto niekorzystne jest również zjawisko nadmiernego napięcia łańcucha, co doprowadza do szybszego zużycia elementów przenośnika np. poprzez tarcie łańcucha po ślizgach na stacji zwrotnej lub wycieraniu się gniazd w bębnach łańcuchowych. Wyeliminowanie bądź znaczne ograniczenie występowania niepożądanych zjawisk opisanych powyżej pozwoli na efektywniejsze wykorzystanie mocy silników napędowych oraz na przedłużenia żywotności często zużywających się elementów przenośników zgrzeblowych [3, 4].

3.3. Schemat przepływu sygnałów

W celu przeprowadzenia analiz numerycznych, mających na celu ocenę i poprawę algorytmu sterowania przenośnikiem zgrzeblowym, zdefiniowano przepływ sygnałów pomiędzy poszczególnymi blokami funkcjonalnymi wirtualnego prototypu, takimi jak: model fizyczny przenośnika opracowanym w programie klasy MBS (ang. *Multi Body System*), który odwzorowuje pracę maszyny i zjawiska dynamiczne występujące w czasie pracy maszyny, model silników elektrycznych oraz model układu sterowania wraz z algorytmem. Sposób połączenia pomiędzy poszczególnymi blokami modelu obliczeniowego przedstawiono na rysunku 5 [3, 4].

Opracowanie poszczególnych bloków modelu w różnych środowiskach programowych wymagało przeprowadzenia tzw. *co-symulacji*, polegającej na jednoczesnym uruchomieniu i współpracy dwóch odrębnych programów obliczeniowych. Przeprowadzenie



Rys.5. Przepływ sygnałów pomiędzy blokami wirtualnego prototypu przenośnika zgrzeblowego [4]

co-symulacji jest możliwe dzięki użyciu modułu programu MSC ADAMS/Control umożliwiającego połączenie modelu fizycznego przenośnika zbudowanego w programie MSC ADAMS, z układem sterującym zawierającym zaimplementowany algorytm sterowania oraz modelami silników elektrycznych opracowanych w środowisku MatLab/Simulink.

4. Przebieg symulacji

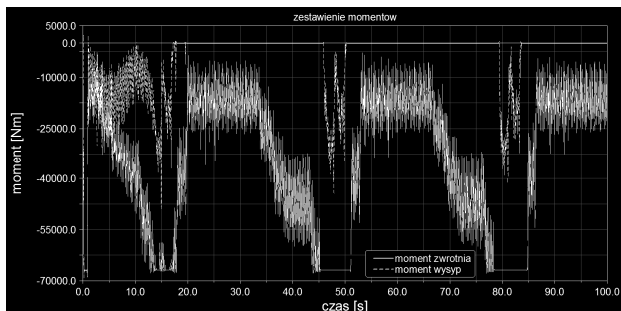
Wnioskiem z przeprowadzonych wstępnych symulacji i analizy działania algorytmu sterowania jest założenie, że sterowanie częstotliwością napięcia zasilania silników napędowych odbywać powinno się w układzie *Master – Slave*. Oznacza to, że jeden z silników zasilany jest napięciem o stałej częstotliwości równej 50 Hz, natomiast częstotliwość napięcia zasilania drugiego silnika jest regulowana. W niniejszym artykule przedstawiono wybrane wyniki trzech symulacji:

- symulacja A – silnik na stacji zwrotnej jest identyfikowany jako *Master*, a silnik na stacji wysypowej jako *Slave*,
- symulacja B – silnik na stacji wysypowej działał jako *Master*, natomiast silnik na stacji zwrotnej działał jako *Slave*,
- symulacja C – silnik na stacji wysypowej działał jako *Master*, natomiast silnik na stacji zwrotnej działał jako *Slave*. Dodatkowo algorytm sterowania zmodyfikowano.

Podczas wszystkich symulacji obciążenie górnej nitki łańcucha przenośnika zgrzeblowego definiowano poprzez 4 siły o wartości 25 000 N.

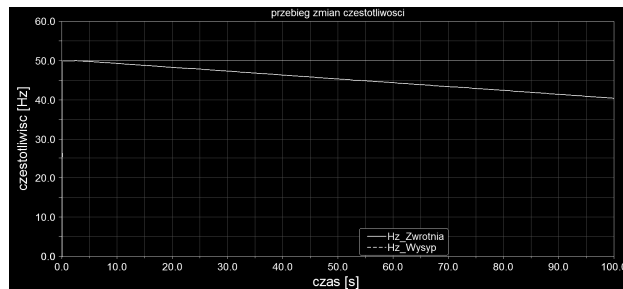
4.1. Symulacja A

Podczas symulacji odnotowano dysproporcje w obciążeniu silników napędowych przenośnika. W wyniku działania algorytmu sterowania częstotliwość napięcia zasilania silnika na stacji wysypowej zmniejszono. Zmiana ta nie przyniosła założonego skutku działania algorytmu. Na rysunku 6 przedstawiono zestawienie przebiegu momentów napędzających na bębnach łańcuchowych, będących wynikiem symulacji A.



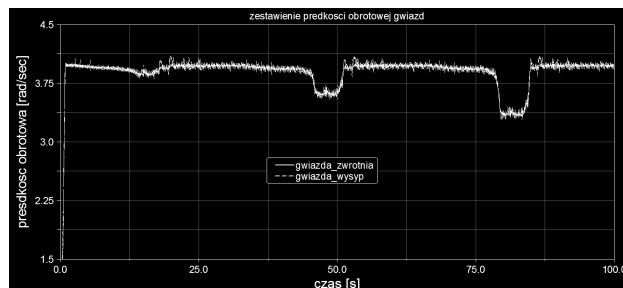
Rys.6. Zestawienie przebiegu momentów napędzających na bębnie łańcuchowym dla symulacji A [4]

Na rysunku 7 przedstawiono przebieg zmian częstotliwości napięcia zasilania silników napędowych będących wynikiem symulacji A.



Rys.7. Przebieg zmian częstotliwości napięcia zasilania silników napędu dla symulacji A [4]

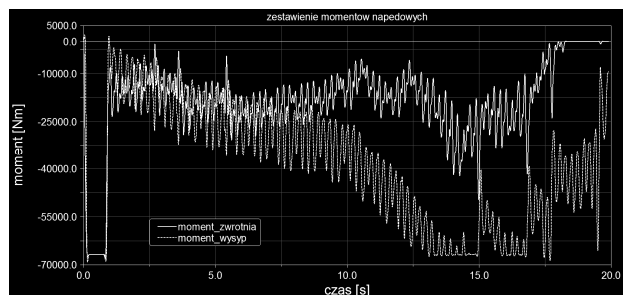
Na rysunku 8 przedstawiono zestawienie prędkości obrotowej bębnow łańcuchowych zarejestrowane podczas symulacji A.



Rys.8. Zestawienie prędkości obrotowej bębnow łańcuchowych dla symulacji A [4]

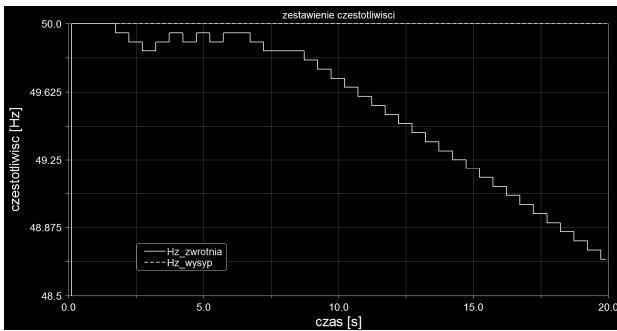
4.2. Symulacja B

Podczas symulacji B zamieniono funkcje silników, tj. silnik na stacji wysypowej był silnikiem zasilanym napięciem o stałej częstotliwości 50 Hz, natomiast silnik na stacji zwrotnej sterowano poprzez zmianę częstotliwości napięcia zasilania. Na rysunku 9 przedstawiono zestawienie przebiegu momentów napędzających w bębnach łańcuchowych będących wynikiem symulacji B.



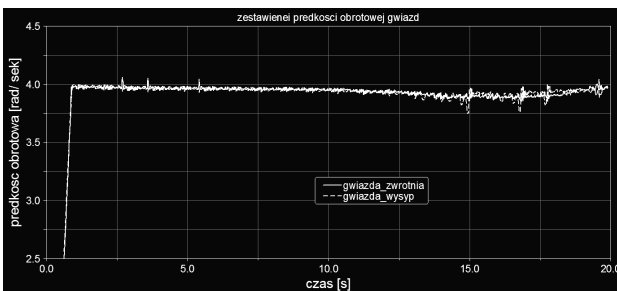
Rys.9. Zestawienie przebiegu momentów napędzających na bębnach łańcuchowych dla symulacji B [4]

Na rysunku 10 przedstawiono przebieg zmian częstotliwości napięcia zasilania silników napędowych będących wynikiem symulacji B.



Rys.10. Przebieg zmian częstotliwości napięcia zasilania silników napędu dla symulacji B [4]

Na rysunku 11 przedstawiono zestawienie prędkości obrotowej bębnow łańcuchowych zarejestrowane podczas symulacji B.



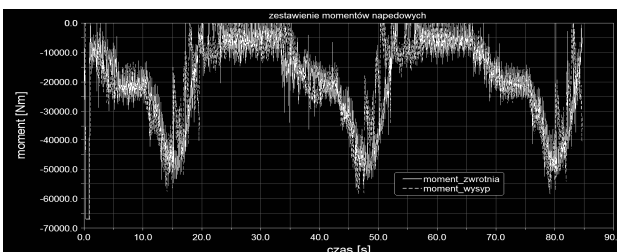
Rys.11. Zestawienie prędkości obrotowej bębnow łańcuchowych dla symulacji B [4]

4.3. Symulacja C

Po przeanalizowaniu wyników symulacji 2, algorytm zmodyfikowano. Wprowadzone poprawki dotyczyły:

- doboru odpowiedniego skoku zmiany częstotliwości napięcia zasilania sterowanego silnika na stacji zwrotnej *Slave*,
- zmiany interpretacji i uśredniania sygnałów z czujników oraz czasu generowania nowych stanów wyjść w algorytmie.

W wyniku wprowadzonych zmian w działaniu algorytmu sterowania podczas symulacji C uzyskano znaczne wyrównanie obciążeń napędu wysypowego i napędu zwrotnego przenośnika. Na rysunku 12 przedstawiono zestawienie przebiegu momentów napędzających na bębnach łańcuchowych będących wynikiem symulacji C.



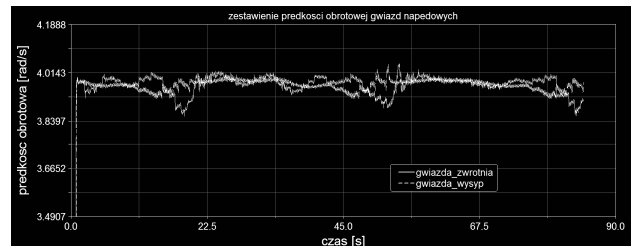
Rys.12. Zestawienie przebiegu momentów napędzających na bębnach łańcuchowych dla symulacji C [4]

Na rysunku 13 przedstawiono przebieg zmian częstotliwości napięcia zasilania silników napędowych będących wynikiem symulacji C.



Rys.13. Przebieg zmian częstotliwości napięcia zasilania silników napędu dla symulacji C [4]

Na rysunku 14 przedstawiono zestawienie prędkości obrotowej bębnow łańcuchowych zarejestrowane podczas symulacji C.



Rys.14. Zestawienie prędkości obrotowej bębnow łańcuchowych dla symulacji C [4]

5. Podsumowanie

W artykule przedstawiono innowacyjny proces projektowo-konstrukcyjny złożonego systemu mechanicznego, w którym do oceny algorytmu sterowania przenośnika zgrzeblowego zastosowano metody wirtualnego prototypowania. Opracowana metoda pozwala na budowę modelu przenośnika zgrzeblowego w programie klasy MBS (ang. *Multi Body System*) oraz sterowanie jego pracą za pomocą zewnętrznego algorytmu sterowania. Model fizyczny przenośnika klasy MBS odzwierciedla cechy dynamiczne i kinematyczne projektowanej maszyny. Pozwala również na obserwację i ocenę skutków działania maszyny przy zmiennych obciążeniach zewnętrznych, pochodzących od załadowywanego na przenośnik i transportowanego urobku. Na podstawie uzyskanych wyników określa się wpływ nastaw sterowniczych na pracę maszyny, np. sposób obciążenia silników, prędkość ruchu łańcucha czy występowanie luzów łańcucha. Modele silników elektrycznych oraz algorytm sterowania zaimplementowany w środowisku MatLab/Simulink pozwala na prowadzenie co-symulacji i aktywne wpływanie na stan pracy wirtualnej maszyny. Zmiana parametrów pracy dotyczyć może zarówno sterowanych przez algorytm wielkości, jak i obciążeń zewnętrznych maszyny poprzez zmianę wartości wektora obciążenia.

W analizowanym przypadku przenośnika zgrzeblowego na podstawie przeprowadzonych symulacji za celowe uznano wprowadzenie na napędzie zwrotnym dodatkowego czujnika służącego do wykrywania stanu nadmiernego luzowania łańcucha. Pozwoliło to na wprowadzenie modyfikacji

konstrukcyjnych jeszcze przed budową prototypu. Opracowana metoda jest metodą uniwersalną i jej możliwości nie ograniczają się do analiz algorytmów sterowania przenośnikami zgrzeblowymi, istnieje bowiem możliwość zastosowania jej do wielu innych typów maszyn. Dzięki możliwości prowadzenia co-symulacji oraz sterowania pracą modeli klasy MBS istnieje możliwość analizy algorytmów sterowania maszyn, jak również analiz obciążenia silników napędowych w zależności od warunków pracy, jak na przykład analiza obciążeń silników elektrycznych, napędzających ciągniki kolejek podwieszonych.

Literatura

1. Dolipski M.: Dynamika przenośników łańcuchowych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997.
2. Giesbers J.: Contact mechanics in MSC Adams. A technical evaluation of the contact models in multibody dynamics software MSC Adams, Bachelor Thesis. Advanced Technology, University of Twente 2012.
3. Opracowanie algorytmu sterowania wyrównywaniem obciążeń napędów przenośnika. Raport projektu badawczego ICON: System wyrównywania obciążeń napędów wysoko wydajnych przenośników zgrzeblowych (W20.269.AY). Ścieżka programowa In-Tech. Gliwice, 2012 (materiały nie publikowane).
4. Opracowanie wirtualnego dyskretnego modelu przenośnika wraz z modelem jego sterowania, przeprowadzenie testowych symulacji numerycznych modelu. Raport projektu badawczego ICON: System wyrównywania obciążeń napędów wysoko wydajnych przenośników zgrzeblowych (W20.269.AY3). Ścieżka programowa In-Tech. Gliwice, 2012 (materiały nie publikowane).
5. Tytko S., Łabęcki M., Gros S.: Nowoczesne zintegrowane przenośniki zgrzeblowe produkcji RYFAMA S.A. Maszyny Górnicze 2012 nr 3 s. 31 – 38.
6. Wojtyra M., Frączek J.: Metoda układów wieloczłonowych w dynamice mechanizmów, Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2007.

Niniejsza publikacja powstała w ramach realizacji projektu pt. „Ścianowy przenośnik zgrzeblowy z innowacyjnym systemem regulacji parametrów pracy napędów” (akronim ICON), dofinansowanego z Narodowego Centrum Badań i Rozwoju i przedstawia wyniki uzyskane w toku jego realizacji.



Artykuł wpłynął do redakcji w listopadzie 2013 r.