

## Wpływ regulacji wybranych parametrów przenośnika zgrzeblowego na stan jego pracy

mgr inż. Kamil Szewerda  
Instytut Techniki Górniczej KOMAG  
prof. dr hab. inż. Jerzy Świder  
dr inż. Krzysztof Herbuś  
Politechnika Śląska

### Streszczenie:

W długich przenośnikach ścianowych, na skutek zmiennego obciążenia urobkiem oraz sprężystego wydłużenia łańcucha zgrzeblowego powstają stany okresowego lub stałego luzowania lub nadmiernego napięcia łańcucha. Stany takie często są przyczyną zerwania łańcucha. W celu poprawy stanu pracy opracowano algorytm sterowania wybranymi parametrami pracy przenośnika. W artykule przedstawiono modułowy model obliczeniowy ścianowego przenośnika zgrzeblowego, który posłużył do przeprowadzenia symulacji numerycznych. Przeprowadzono analizę wpływu regulacji wybranych parametrów pracy przenośnika na stan napięcia łańcucha zgrzeblowego. Wyniki symulacji potwierdzają możliwość poprawy stanu napięcia łańcucha poprzez regulację wybranych parametrów pracy przenośnika.

Słowa kluczowe: górnictwo, przenośnik zgrzeblowy, obliczenia numeryczne, algorytm sterowania

Keywords: mining, armoured face conveyor, numerical calculation, control algorithm

### Abstract:

Due to changing the load of run-of-mine and elastic elongation of scraper chain in long armoured face conveyors (AFC), temporary or permanent loosening and tensioning during scraper chain operation occurs. Such situation often results with damage to the chain. In order to improve operation of the conveyor an algorithm for controlling its parameters was developed. Modular computational model of the AFC to conduct numerical simulation is presented in the paper. Analysis of the impact of controlling different operational parameters of the AFC on scraper chain tension is carried out. Results of the simulation confirm possibility to improve scraper chain tension through controlling different operational parameters of the AFC.

## 1. Wprowadzenie

Ścianowe przenośniki zgrzeblowe pracujące w przodkach wydobywczych poddawane są zmiennym obciążeniom o stochastycznym charakterze. Skutkuje to występowaniem dużych przeciążeń dynamicznych poszczególnych podzespołów przenośników, jak również sprężystych odkształceń łańcucha, co w efekcie wiąże się z występowaniem stanów luzowania lub jego dużego napięcia. Stany napięcia łańcucha są przyczyną wyżej wymienionych dynamicznych przeciążeń podzespołów przenośnika. Ograniczenie ich wpływu jest przedmiotem wielu prac badawczych w celu wprowadzania nowych rozwiązań technicznych w przenośnikach [1, 3, 4, 7]. W ostatnich latach opracowywano nowe systemy sterowania pracą przenośników ścianowych. Przykładem w tym zakresie jest opracowywany w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG algorytm sterowania wybranymi parametrami pracy ścianowego przenośnika zgrzeblowego [2, 5, 6], w którym regulacji poddawane są: wartości częstotliwości napięcia zasilania silników napędowych przenośnika oraz wielkość wysunięcia ryny teleskopowej, zabudowanej na napędzie zwrotnym przenośnika. Regulacja tych parametrów jest możliwa dzięki zastosowaniu dwóch niezależnych przemienników częstotliwości napięcia zasilania silników napędowych przenośnika.

W celu sprawdzenia funkcjonalności opracowanego algorytmu opracowano model obliczeniowy przenośnika typu RYBNIK 850, wyposażonego w dwa silniki napędowe, o mocy 315 kW. Model, po jego zweryfikowaniu posłużył do przeprowadzenia symulacji

numerycznych mających na celu: porównanie stanów napięcia łańcucha oraz sposobu współpracy silników napędowych, podczas pracy przenośnika ze zmiennym obciążeniem, w przypadku pracy bez regulacji oraz z regulacją wybranych parametrów. Podejście takie umożliwiło przeprowadzenie weryfikacji sposobu działania algorytmu sterowania, uwzględniając zmienne wartości tj.: długość przenośnika, sposób jego zabudowy czy charakter obciążenia. W niniejszym artykule zaprezentowano wyniki symulacji pracy przenośnika na upadzie o nachyleniu  $30^\circ$ , poddanego zmiennemu obciążeniu górnej nitki łańcucha zgrzeblowego i porównano stany pracy przenośnika w przypadku zastosowania układu sterowania i przypadku jego pominięcia [6].

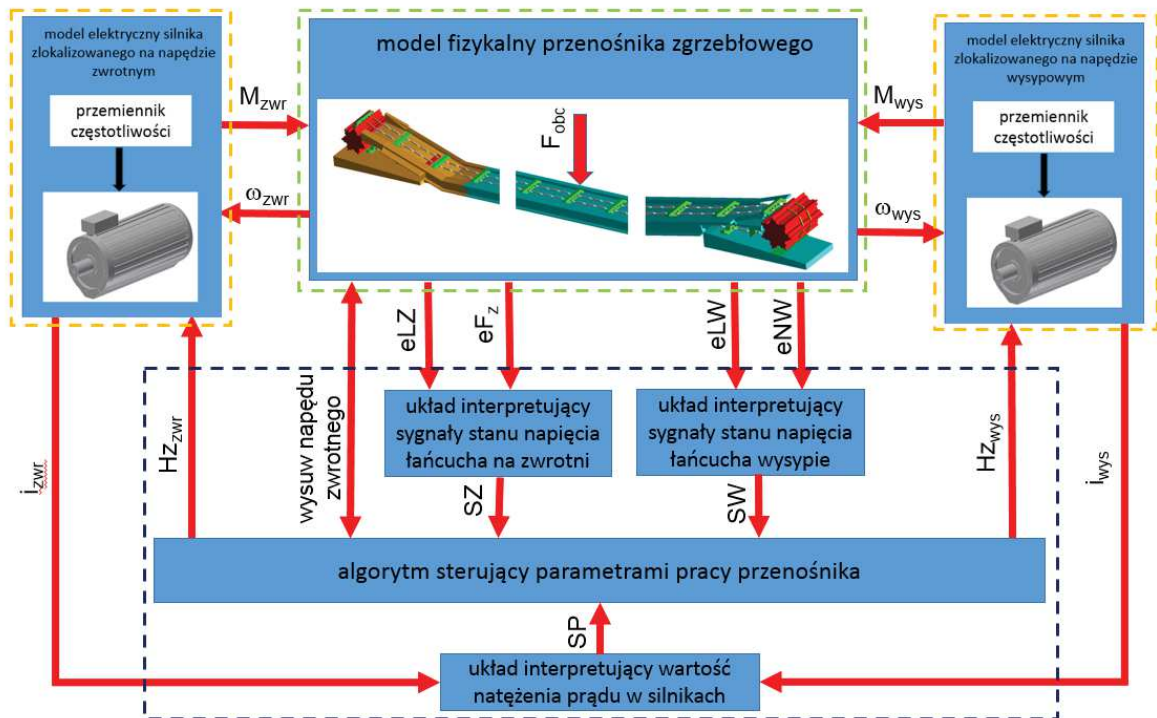
## 2. Model obliczeniowy przenośnika zgrzeblowego

Model obliczeniowy ścianowego przenośnika zgrzeblowego dzieli się na trzy części: model fizyczny przenośnika, model silników napędowych wraz z przemiennikami częstotliwości oraz model układu sterowania pracą przenośnika.

Model fizyczny przenośnika, oznaczony na rys. 1 zieloną, przerywaną linią, opracowano w środowisku programowym dedykowanym do analiz kinematyki i dynamiki układów wieloczłonowych. Zastosowano w nim wiele uproszczeń, w odniesieniu do rzeczywistego przenośnika, skupiając się na odwzorowaniu cech funkcjonalnych poszczególnych podzespołów przenośnika. Model obliczeniowy składał się ze sztywnych brył przedstawiających poszczególne podzespoły przenośnika ścianowego. Bryły połączone więzami geometrycznymi, elementami sprężysto – tłumiącymi oraz poprzez zdefiniowane własności kontaktów, określających interakcję pomiędzy wybranymi bryłami. Ponadto w modelu fizycznym zdefiniowano wektory sił i momentów umożliwiające m.in. zadawanie zmiennego obciążenia górnej nitki łańcucha, podczas symulacji pracy przenośnika. Dodatkowo, w modelu tym zabudowano cztery przetworniki służące do detekcji stanu napięcia łańcucha zgrzeblowego. Przetworniki znajdowały się w miejscu zejścia łańcucha zgrzeblowego z bębnow napędowych: dwa przetworniki na napędzie wysypowym i dwa na napędzie zwrotnym przenośnika. Oba przetworniki zabudowane na napędzie wysypowym, były przetwornikami dwustanowymi, w których wystąpienie stanu wysokiego informowało o wykryciu obecności zgrzebla. Jeden z czujników służył do wykrycia stanu nadmiernego napięcia łańcucha na napędzie wysypowym, natomiast drugi do wykrycia stanu jego luzowania. Stan poprawnego napięcia łańcucha na, napędzie wysypowym, występował w sytuacji, gdy sygnały z obu przetworników przyjmowały niski stan. Na napędzie zwrotnym zabudowano również dwa przetworniki: jeden służący do detekcji stanu luzowania łańcucha oraz drugi do pomiaru stopnia jego napięcia. Zasada działania przetwornika służącego do wykrywania stanu luzowania łańcucha, była taka sama, jak na napędzie wysypowym, a sygnał z tego przetwornika był sygnałem dwustanowym. Drugi z przetworników na napędzie zwrotnym służył do pomiaru siły nacisku zgrzebla, przemieszczającego się pod nim, na rynnę przenośnika. Na podstawie zmierzonej siły nacisku można było obliczyć siłę rozciągającą w łańcuchu zgrzeblowym [6].

Model silników napędowych, oznaczono na rysunku 1 przerywaną, pomarańczową linią. Został on opracowany w środowisku oprogramowania MatLab/SIMULINK. W modelu tym wyodrębniono dwa niezależne modele elektrycznych silników asynchronicznych, wraz z przemiennikami częstotliwości napięcia zasilania. Zastosowanie przemienników umożliwiło sterowanie prędkością obrotową silników, a tym samym zmianą prędkości ruchu łańcucha

zgrzeblowego. Ponadto, zastosowanie dwóch niezależnych przemienników częstotliwości, pozwoliło na wprowadzenie zróżnicowania wartości częstotliwości napięcia zasilania obu silników. Umożliwiło to poprawę współpracy obu silników w sytuacji, gdy jeden z silników obciąża drugi, za pośrednictwem łańcucha zgrzeblowego.



Rys. 1. Struktura modelu obliczeniowego. gdzie:  $M_{zwr}$  – moment na bębnie napędowym zwrotnym,  $M_{wys}$  – moment na bębnie napędowym wysypowym,  $\omega_{zwr}$  – prędkość obrotowa bębna napędowego zwrotnego,  $\omega_{wys}$  – prędkość obrotowa bębna napędowego wysypowego,  $HZ_{zwr}$  – częstotliwość napięcia zasilania silnika na napędzie zwrotnym,  $HZ_{wys}$  – częstotliwość napięcia zasilania silnika na napędzie wysypowym,  $i_{zwr}$  – wartość natężenia prądu w silniku zlokalizowanym na napędzie zwrotnym,  $i_{wys}$  – wartość natężenia prądu w silniku zlokalizowanym na napędzie wysypowym,  $eLz$  – sygnał z przetwornika służącego do detekcji stanu luzowania łańcucha na napędzie zwrotnym,  $eFz$  – sygnał z przetwornika mierzącego siłę nacisku zgrzebla na rynnę przonośnika,  $eLw$  – sygnał z przetwornika służącego do detekcji stanu luzowania łańcucha na napędzie wysypowym,  $eNw$  – sygnał z przetwornika służącego do detekcji stanu nadmiernego napięcia łańcucha na napędzie wysypowym,  $SZ$  – stan napięcia łańcucha na napędzie zwrotnym,  $SW$  – stan napięcia łańcucha na napędzie wysypowym,  $SP$  – stan obciążenia i współpracy silników napędowych,  $F_{obc}$  – wektor obciążenia zewnętrznego górnej nitki łańcucha. [6]

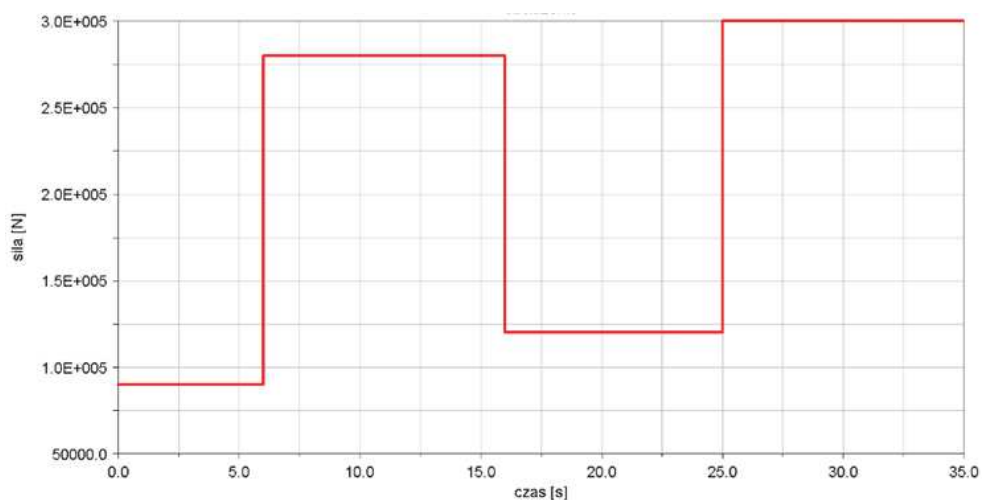
Model układu sterowania pracą ścianowego przonośnika zgrzeblowego, oznaczono na rysunku.1 granatową, przerywaną linią. Został on opracowany w środowisku programowym MatLab/SIMULINK. W module tym zaimplementowano algorytm sterowania pracą przonośnika. Do modelu układu sterowania przesyłane były wartości sygnałów z przetworników detekcji stanu napięcia łańcucha zgrzeblowego zarejestrowane w modelu fizycznym przonośnika. Ponadto, do modelu układu sterowania przekazywano wartości natężenia prądu w silnikach napędowych oraz stopień wysunięcia rynnę teleskopowej znajdującej się na napędzie zwrotnym. W modelu tym następowała interpretacja przesłanych sygnałów, a następnie określany był stan pracy przonośnika. W algorytmie zdefiniowano 37

stanów pracy. Na podstawie reguł opisujących algorytm sterowania, generowane były: korekty wartości częstotliwości napięcia zasilania każdego z silników napędowych oraz stopień wysunięcia rynnny teleskopowej na napędzie zwrotnym. Zmiana tych wartości miała na celu poprawę stanu pracy przenośnika, a w szczególności minimalizację czasu, w którym występował stan luzowania łańcucha zgrzeblowego oraz stan jego nadmiernego napięcia. Ponadto, na podstawie analizy wartości natężenia prądu w silnikach napędowych, zgodnie z regułami opisującymi algorytm sterowania, prędkość ruchu łańcucha zgrzeblowego była dostosowana do bieżącego obciążenia przenośnika. Pozwoliło to na obniżenie prędkości pracy przenośnika w sytuacji małego obciążenia strugą urobku. Zastosowanie takiego sposobu regulacji skutkowało obniżeniem przebiegu przenośnika a wraz z tym, ograniczeniem ciernego zużycia jego podzespołów. Szczegółowy sposób regulacji prędkością ruchu łańcucha opisano w [5].

W opracowanym modelu obliczeniowym zdefiniowano sygnały dzięki, którym nastąpiła integracja wszystkich części modelu obliczeniowego. Integracja ta umożliwiła przeprowadzenie symulacji pracy przenośnika z zastosowaniem techniki symulacji równoległych [4, 5, 6, 7].

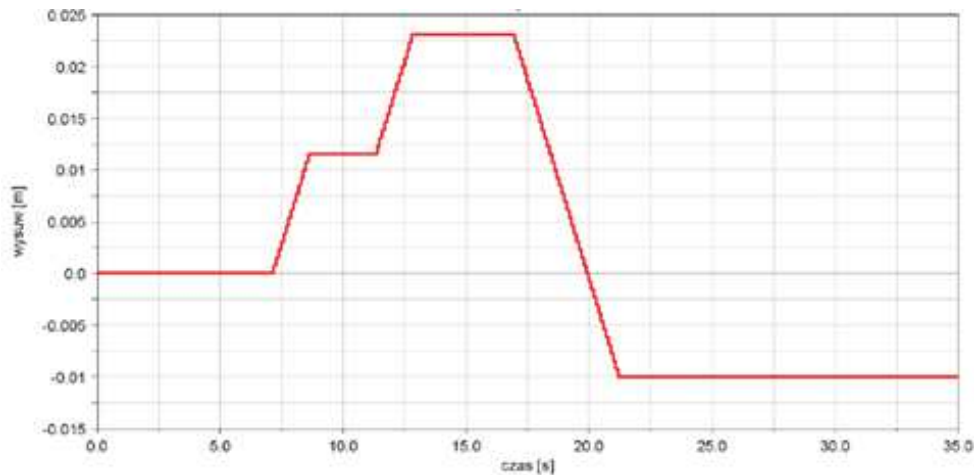
### 3. Analiza wpływu zmiany parametrów pracy przenośnika na stan jego pracy

Opracowany model obliczeniowy posłużył do przeprowadzenia symulacji numerycznych w celu sprawdzenia poprawności działania opracowanego algorytmu sterowania parametrami pracy przenośnika, podczas zmiennego obciążenia górnej nitki łańcucha. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki symulacji numerycznych, w odniesieniu do przenośnika transportującego urobek po upadzie, o kącie nachylenia równym  $30^\circ$ . Przeprowadzono dwie symulacje numeryczne: pierwszą, w której nie następowała regulacja częstotliwości napięcia zasilania silników napędowych i stopnia wysunięcia rynnny teleskopowej na napędzie zwrotnym oraz drugą, w której realizowane były czynności regulacyjne. Podczas symulacji, obciążenie górnej nitki łańcucha zgrzeblowego ulegało zmianie (charakter tego obciążenia przedstawiono na rysunku 2).



Rys. 2. Zmiana obciążenia górnej nitki łańcucha zgrzeblowego podczas symulacji pracy przenośnika na upadzie [6]

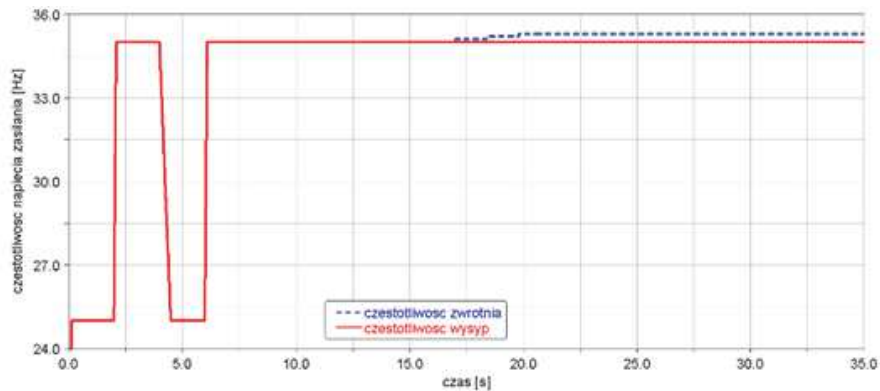
Podczas symulacji pracy przenośnika uwzględniającej proces regulacji następowała zmiana stopnia wysunięcia rynny teleskopowej na napędzie zwrotnym oraz zmiana wartości częstotliwości napięcia zasilania silników napędowych przenośnika. Na rysunku 3 przedstawiono sposób wysunięcia rynny teleskopowej podczas przeprowadzonej symulacji, uwzględniającej regulację parametrów pracy przenośnika.



Rys. 3. Sposób wysunięcia rynny teleskopowej podczas symulacji pracy przenośnika na upadzie [6]

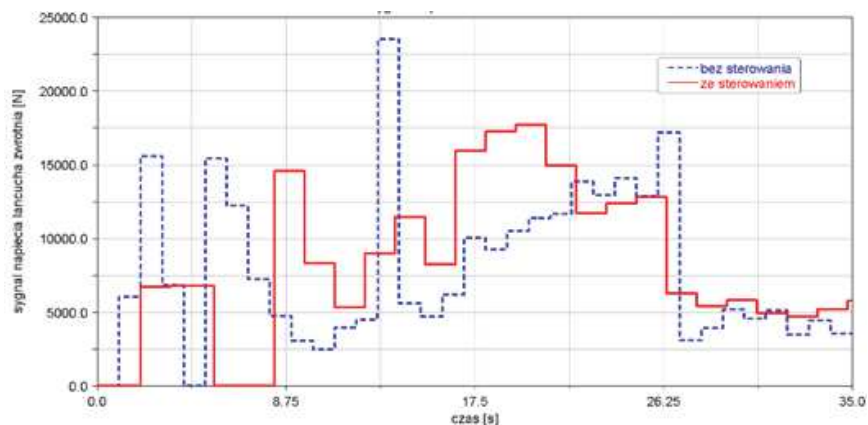
Pomiędzy 7 a 13 s symulacji wydłużenie przenośnika, poprzez wysunięcie rynny teleskopowej na napędzie zwrotnym, nastąpiło dwukrotnie. Sumarycznie rynna wysunięta została o ok. 23 mm. Wydłużenie przenośnika było reakcją na stan luzowania łańcucha, zarejestrowany na napędzie zwrotnym ok. 7 s symulacji oraz na napędzie wysypowym ok. 11,5 s. Pomiędzy 17 a 21 s symulacji nastąpiło zsuniecie rynny teleskopowej przenośnika i w efekcie jego skrócenie o ok. 33 mm. Była to reakcja na wystąpienie dużej siły nacisku zgrzebla na rynnę przenośnika na napędzie zwrotnym, której nagły wzrost zarejestrowano w 17 sekundzie symulacji. Wzrost napięcia łańcucha związany był z odciążeniem przenośnika, które nastąpiło w 16 s symulacji. Odciążenie to spowodowało zmniejszenie sprężystych odkształceń łańcucha, co skutkowało jego skróceniem, powodując zwiększenie jego napięcia.

Rysunek 4 przedstawia zmianę wartości częstotliwości napięcia zasilania silników napędowych podczas symulacji uwzględniającej regulację parametrów pracy przenośnika. Wartość częstotliwości napięcia zasilania zmniejszyła się z wartości 35 Hz, do wartości 25 Hz ok. 4 s symulacji, co było związane ze zmianą wartości prędkości zadanej. Następnie, ok. 6 s symulacji wartość częstotliwości napięcia zasilania wzrosła do wartości 35 Hz. Zmiana ta była spowodowana zwiększeniem obciążenia przenośnika. W okresie pomiędzy 17 a 20 s symulacji nastąpiła zmiana wartości częstotliwości napięcia zasilania silnika napędu zwrotnego. Wprowadzona różnica wartości częstotliwości napięcia zasilania silników napędowych, wynosząca ok. 0,3 Hz, została utrzymana do końca symulacji. Zmiana ta miała na celu poprawę stanu napięcia łańcucha oraz utrzymanie poprawnej współpracy silników napędowych.



Rys. 4. Wartość częstotliwości napięcia zasilania silników napędowych podczas symulacji pracy przenośnika na upadzie [6]

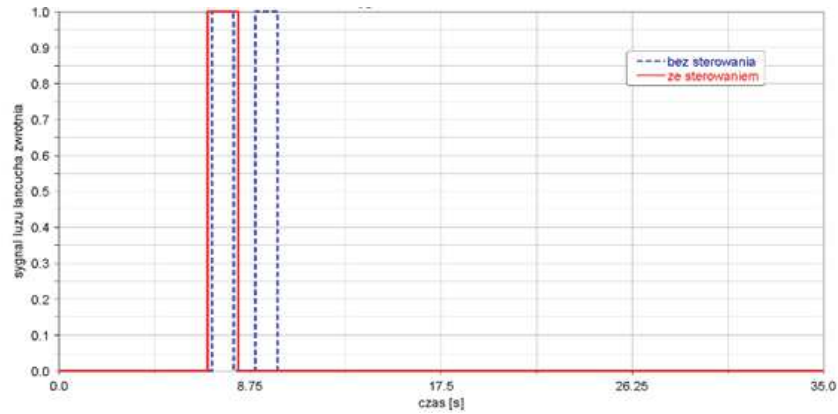
Zarówno podczas symulacji pracy przenośnika uwzględniającej proces regulacji jak i symulacji z pominięciem układu sterowania, rejestrowano sygnały pochodzące z przetworników stanu napięcia łańcucha. Następnie zestawiono wartości zarejestrowanych sygnałów. Na rysunku 5 przedstawiono wartości sił nacisku zgrzebła na rynnę przenośnika na napędzie zwrrotnym, zarejestrowane podczas symulacji pracy przenośnika.



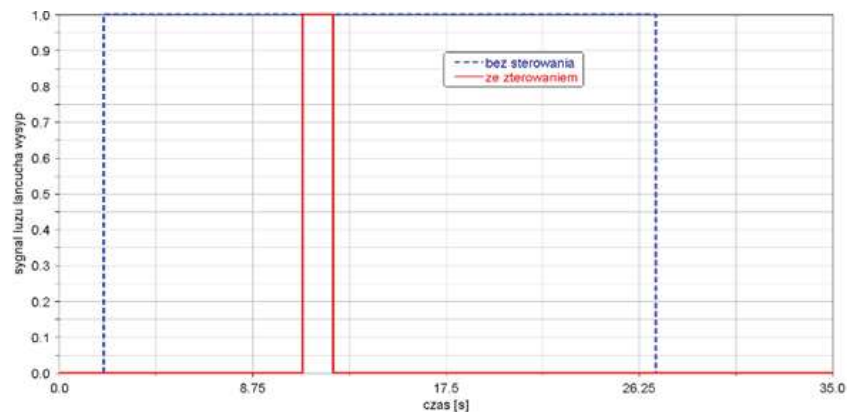
Rys. 5. Wartości siły nacisku zgrzebła na rynnę przenośnika na napędzie zwrrotnym przenośnika, zarejestrowane podczas symulacji pracy przenośnika na upadzie [6]

Na rysunku 6 przedstawiono wartości sygnału z przetwornika detekcji stanu luzowania łańcucha na napędzie zwrrotnym, zarejestrowane podczas symulacji pracy przenośnika. Wartość 0 oznacza brak zarejestrowanego stanu luzowania łańcucha, natomiast wartość 1 świadczy o zarejestrowaniu obecności zgrzebła w zakresie pomiarowym przetwornika.

Na rysunku 7 przedstawiono wartości sygnałów z przetwornika detekcji stanu luzowania łańcucha na napędzie wysypowym, zarejestrowane podczas symulacji pracy przenośnika.

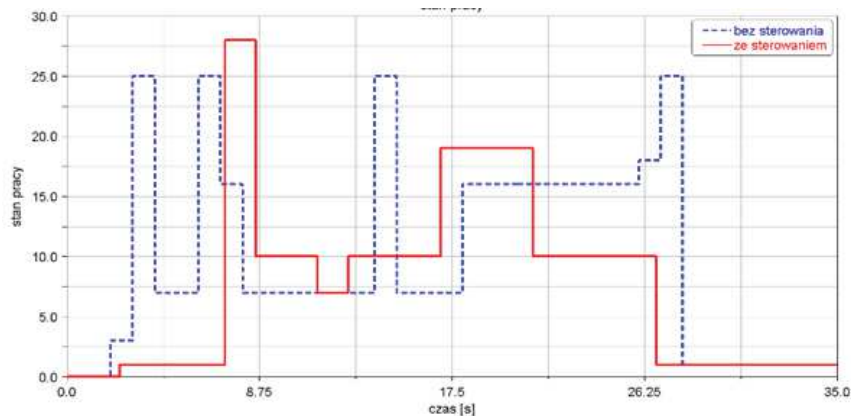


Rys. 6. Wartości sygnału z przetwornika detekcji stanu luzowania łańcucha na napędzie zwrotnym, zarejestrowane podczas symulacji pracy przenośnika na upadzie [6]



Rys. 7. Wartości sygnału z przetwornika detekcji stanu luzowania łańcucha na napędzie wyspowym, zarejestrowane podczas symulacji pracy przenośnika na upadzie [6]

Na podstawie analizy sygnałów z przetworników stanu napięcia łańcucha oraz wartości natężenia prądu w silnikach napędowych określono stan pracy przenośnika, a następnie sposób korekty parametrów jego pracy, w celu poprawy stanu napięcia łańcucha oraz poprawy współpracy obu silników napędowych. Na rysunku 8 przedstawiono stan pracy przenośnika zaobserwowany podczas symulacji ze sterowaniem (linia czerwona) i bez sterowania (linia niebieska).



Rys. 8. Wartości stanu pracy przenośnika, zarejestrowane podczas symulacji pracy przenośnika na upadzie [6]

W tabeli 1 scharakteryzowano poszczególne stany pracy zarejestrowane podczas symulacji pracy przenośnika.

**Opis stanów pracy przenośnika zgrzeblowego zarejestrowanych podczas symulacji [6]**

Tabela 1

Numer stanu pracy	Opis stanu napięcia łańcucha zgrzeblowego i proporcji obciążenia silników napędowych.
Stan 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Łańcuch zgrzeblowy, zarówno na napędzie wysypowym, jak i zwrotnym ma prawidłowy poziom jego napięcia. W tym stanie nie występuje sytuacja luzowania łańcucha zgrzeblowego i nie występuje stan dużego napięcia łańcucha.</li> <li>• Silniki napędowe są obciążone równomiernie i współpracują w prawidłowy sposób.</li> </ul> <p>Stan pracy 1 uznano za stan poprawnej pracy przenośnika. Stan ten nie wymaga korekty parametrów pracy przenośnika.</p>
Stan 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Łańcuch zgrzeblowy, zarówno na napędzie wysypowym, jak i zwrotnym, posiada prawidłowy poziom napięcia. W tym stanie nie występuje sytuacja luzowania łańcucha zgrzeblowego. Jednocześnie nie występuje stan dużego napięcia łańcucha.</li> <li>• Silniki napędowe przenośnika nie są obciążone równomiernie i nie współpracują w prawidłowy sposób. Silnik elektryczny zlokalizowany na napędzie wysypowym jest obciążony zbyt mocno, w odniesieniu do silnika zlokalizowanego na napędzie zwrotnym.</li> </ul>
Stan 7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Łańcuch zgrzeblowy charakteryzuje się poprawnym stanem napięcia na zejściu z bębna, na napędzie zwrotnym. Na napędzie nie występuje stan luzowania łańcucha, ani stan jego nadmiernego napięcia.</li> <li>• Na napędzie wysypowym występuje stan luzowania łańcucha zgrzeblowego.</li> <li>• Silniki napędowe są obciążone równomiernie i współpracują w prawidłowy sposób.</li> </ul>
Stan 10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Łańcuch zgrzeblowy charakteryzuje się stanem napięcia na zejściu z bębna, na napędzie zwrotnym. Zmierzona siła nacisku zgrzebla na rynnę przenośnika, mieści się w przedziale wartości podwyższonych, ale nie przekracza ustalonych w algorytmie wartości dopuszczalnych.</li> <li>• Na napędzie wysypowym występuje stan poprawnego napięcia łańcucha zgrzeblowego. Nie występuje stan luzowania łańcucha, ani stan jego nadmiernego napięcia.</li> <li>• Silniki napędowe są obciążone równomiernie i współpracują w prawidłowy sposób.</li> </ul> <p>Pomimo występowania stanu napięcia łańcucha na napędzie zwrotnym w algorytmie uznano ten stan pracy jako quazi-poprawny i nie przewidziano zmiany nastaw parametrów pracy przenośnika. Wynikało to z faktu, że w 10 stanie pracy, silniki napędowe były obciążane w poprawny sposób i nie występował stan luzowania łańcucha na przenośniku. Jest to stan bezpieczny z punktu widzenia pracy przenośnika. Ponadto, przy takim napięciu łańcucha występuje ograniczona możliwość znaczących, dynamicznych przeciążeń układu. Poprzez kontrolę siły nacisku zgrzebla na rynnę przenośnika kontrolowany jest stan napięcia łańcucha. W sytuacji, gdy osiągnie on zbyt wysoką wartość, podjęte zostaną czynności regulacyjne.</p>



Stan 16	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Łańcuch zgrzeblowy charakteryzuje się wystąpieniem stanu napięcia na zejściu z bębna napędowego na napędzie zwrotnym.</li> <li>• Na napędzie wysypowym występuje stan luzowania łańcucha zgrzeblowego.</li> <li>• Silniki napędowe są obciążone równomiernie i współpracują w prawidłowy sposób.</li> </ul>
Stan 18	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Łańcuch zgrzeblowy charakteryzuje się wystąpieniem stanu napięcia na zejściu z bębna napędowego na napędzie zwrotnym.</li> <li>• Na napędzie wysypowym występuje stan luzowania łańcucha zgrzeblowego.</li> <li>• Silniki napędowe przenośnika nie są obciążone równomiernie i nie współpracują w prawidłowy sposób. Silnik elektryczny zlokalizowany na napędzie wysypowym jest obciążony zbyt mocno, w odniesieniu do silnika zlokalizowanego na napędzie zwrotnym.</li> </ul>
Stan 19	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Łańcuch zgrzeblowy charakteryzuje się wystąpieniem stanu dużego napięcia na zejściu z bębna napędowego na napędzie zwrotnym.</li> <li>• Na napędzie wysypowym występuje stan poprawnego napięcia łańcucha zgrzeblowego. Na tym napędzie nie występuje, stan luzowania łańcucha, ani stan jego nadmiernego napięcia.</li> <li>• Silniki napędowe są obciążone równomiernie i współpracują w prawidłowy sposób.</li> </ul>
Stan 25	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Łańcuch zgrzeblowy charakteryzuje się wystąpieniem stanu dużego napięcia łańcucha zgrzeblowego na zejściu z bębna napędowego na napędzie zwrotnym.</li> <li>• Na napędzie wysypowym występuje stan luzowania łańcucha zgrzeblowego.</li> <li>• Silniki napędowe są obciążone równomiernie i współpracują w prawidłowy sposób.</li> </ul>
Stan 28	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Łańcuch zgrzeblowy charakteryzuje się wystąpieniem stanu luzowania na zejściu z bębna napędowego na napędzie zwrotnym.</li> <li>• Na napędzie wysypowym występuje stan poprawnego napięcia łańcucha zgrzeblowego. Na tym napędzie nie występuje, stan luzowania łańcucha, ani stan jego nadmiernego napięcia.</li> <li>• Silniki napędowe są obciążone równomiernie i współpracują w prawidłowy sposób.</li> </ul>

Obliczono sumaryczny czas występowania stanów luzów, napięcia i poprawnej pracy łańcucha zgrzeblowego, zarejestrowanych podczas symulacji pracy przenośnika ze zmiennym obciążeniem na upadzie, z układem regulacji i bez regulacji. Zestawienie sumarycznych czasów występowania określonego stanu napięcia łańcucha przedstawiono w tabeli 2.

**Zestawienie stanów napięcia łańcucha zarejestrowanych podczas symulacji pracy przenośnika na upadzie [6]**

Tabela 2

Stan pracy	Bez sterowania	Ze sterowaniem
luz łańcucha na napędzie zwrotnym	0 s	1,4 s
napięcie łańcucha na napędzie zwrotnym	14 s	4,2 s
napięcie łańcucha na napędzie wysypowym	0 s	0 s
luz łańcucha na napędzie wysypowym	25 s	1,4 s
poprawna praca	8 s	25,6 s

Analiza wyników symulacji, umożliwiła określenie następujących zależności:

- w wyniku przeprowadzonych zabiegów regulacji, zaobserwowano zdecydowaną poprawę stanu napięcia łańcucha na napędzie wysypowym, podczas symulacji pracy przenośnika ze sterowaniem. Sumaryczny czas, w którym występowało luzowanie łańcucha na napędzie wysypowym, podczas symulacji pracy bez sterowania, wynosił 25 s. Analogiczny czas podczas symulacji pracy ze sterowaniem wynosił tylko 1,4 s,
- sumaryczny czas, w którym zarejestrowano prawidłowy stan napięcia łańcucha, uległ wydłużeniu. Podczas symulacji pracy bez sterowania czas ten wynosił 8 s, natomiast podczas symulacji pracy ze sterowaniem wynosił 25,6 s,
- nastąpiło skrócenie sumarycznego czasu, w którym występuje stan nadmiernego napięcia łańcucha na napędzie zwrotnym. Czas ten wynosił 14 s, w przypadku symulacji pracy bez sterowania oraz 4,2 sekundy, przy symulacji pracy przenośnika ze sterowaniem.

#### 4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono strukturę numerycznego modelu obliczeniowego ścianowego przenośnika zgrzeblowego. Omówiono symulacje numeryczne przeprowadzone z zastosowaniem modelu, a następnie sprawdzono poprawność działania algorytmu sterowania pracą przenośnika. Zaletą stosowania symulacji numerycznych, a w szczególności techniki symulacji równoległej była możliwość przeprowadzenia testów poprawności działania nowych algorytmów sterowania, przy zmieniających się warunkach obciążenia przenośnika. Ponadto, w opracowanym modelu istniała możliwość przeprowadzenia symulacji pracy przenośnika pracującego w poziomie oraz pracującego na nachyleniu, o dowolnym kącie, zarówno na upadzie, jak i po wzniosie.

W artykule przedstawiono następnie wyniki symulacji numerycznej pracy przenośnika na upadzie, o kącie nachylenia równym  $30^\circ$ . Zastosowania identycznych warunków brzegowych podczas dwóch symulacji (z i bez układu sterowania) pozwoliło na określenie wpływu zmian wybranych parametrów pracy przenośnika na poprawność napięcia łańcucha zgrzeblowego oraz sposób współpracy silników napędowych. Zmiana stopnia wysunięcia rynny teleskopowej oraz zmiana wartości częstotliwości napięcia zasilania silników napędowych skutkowały wydłużeniem czasu, w którym napięcie łańcucha zgrzeblowego było uznane za prawidłowe, oraz skracало czas występowania luzowania łańcucha na napędzie wysypowym i jego napięcie na napędzie zwrotnym. Ograniczenie stanu luzowania łańcucha, skutkuje wzrostem bezpieczeństwa pracy maszyny w wyniku minimalizacji możliwości zakleszczenia luźnych ogniw łańcucha lub zgrzebla. Natomiast ograniczenie stan nadmiernego napięcia łańcucha powoduje zmniejszenie cierne zużycie podzespołów przenośnika. Można zatem przypuszczać, że zastosowanie układu sterowania i regulacja parametrów pracy przenośnika poprawi warunki pracy łańcucha zgrzeblowego oraz zmniejszy ryzyko wystąpienia poważnych awarii przenośnika.

Artykuł jest wynikiem prac realizowanych w ramach grantu doktoranckiego finansowanego przez Instytut Techniki Górniczej KOMAG.

Obliczenia wykonano na komputerach Centrum Informatycznego Trójmiejskiej Akademickiej Sieci Komputerowej.

## Literatura

- [1] Dolipski M.: Dynamika przenośników łańcuchowych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997. ISBN 8385718575
- [2] 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 zgrzebłowych. Ścieżka programowa In-Tech. Gliwice, 2012 (materiały niepublikowane)
- [3] Suchoń J.: Górnicze przenośniki zgrzebłowe. Budowa i zastosowanie. Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2012. ISBN 9788360708651
- [4] Szewerda K., Świder J., Herbuś K.: Analysis of impact of longitudinal inclination of a chain conveyor on dynamical phenomena during operation. W: Materiały na konferencję: CoSME '16, The 4th International Conference on Computing and Solutions in Manufacturing Engineering 2016, Brasov, Romania, November 3-4, 2016 s. 1-7
- [5] Szewerda K., Świder J., Herbuś K.: Koncepcja algorytmu sterowania wydajnością przenośnika ścianowego. Maszyny Górnicze 2016, nr 4, s. 93-103
- [6] Szewerda K.: Metoda parametryzacji i doboru algorytmów sterowania przenośników zgrzebłowych. Instytut Techniki Górniczej KOMAG. Gliwice 2016 (materiały niepublikowane)
- [7] Świder J., Herbuś K., Szewerda K.: Dynamic analysis of scraper conveyor operation with external loads. Materiały na konferencję: CoSME '16, The 4th International Conference on Computing and Solutions in Manufacturing Engineering 2016, Brasov, Romania, November 3-4, 2016 s. 1-6