

## Koncepcja algorytmu sterowania wydajnością przenośnika ścianowego

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

### Streszczenie

Wprowadzanie w nowoczesnych przenośnikach ścianowych możliwości zasilania silników napędowych za pomocą przemienników częstotliwości umożliwia sterowanie ich prędkością. Jednym z podstawowych problemów sterowania prędkością ruch łańcucha w przenośniku ścianowym jest jej dostosowanie do zakładanej wydajności kombajnu ścianowego. Zbyt niska prędkość przenośnika może być powodem jego zasypania i, w przypadku niewystarczającej mocy, utknięcia (problemu z rozruchem). Z kolei zbyt wysoka prędkość może powodować straty mocy i niewykorzystanie jego potencjalnej wydajności (jest to jednak mniej niebezpieczne). W polskich kopalniach, w większości przypadków, po rozruchu, przenośniki ścianowe pracują z nominalną (maksymalną) prędkością (wydajnością). Nowoczesne przenośniki są wyposażone coraz częściej w przemienniki częstotliwości, za pomocą których zasilane są ich silniki napędowe. Pozwala to na zmianę prędkości obrotowej tych silników. W artykule przedstawiono koncepcję algorytmu sterowania prędkością (wydajnością) ścianowego przenośnika zgrzeblowego, umożliwiającego dostosowanie jego wydajności do bieżącego obciążenia przenośnika.

### Abstract:

Implementation of the method for supplying the AFC's driving motors with use of frequency transducers enables controlling their speed. One of the major problems in their speed control is adjustment of speed to the required longwall shearer's output. Too low speed of the conveyor can be a reason of its filling in with run-of-mine and in the case of not enough power that conveyor can stop with a problem of restarting. On the other hand too high speed can cause power losses what is however less dangerous than the previous case. In Polish mines, the AFCs in most cases operate with nominal (maximal) speed (output). State-of-the-art AFCs are equipped more frequently with frequency transducers, which are used for optimal supply of driving motors. They enable changing the rotational speed of motors. The concept of algorithm for speed control (output control) of AFC enabling adjustment of its output to the current conveyor load.

Słowa kluczowe: maszyny górnicze, przenośnik zgrzeblowy, obliczenia numeryczne, algorytm sterowania

Keywords: mining machines, AFC, numerical calculations, control algorithm

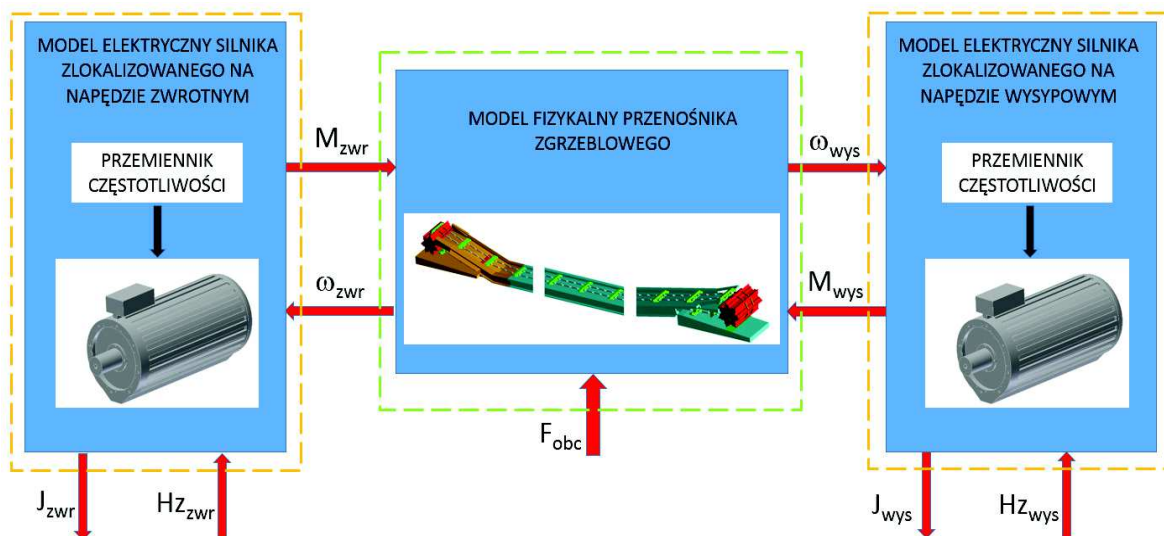
## 1. Wprowadzenie

W ścianowych systemach wydobywczych kombajn ścianowy generuje strugę urobku, charakteryzującą się dużą zmiennością w czasie. Zmienność strugi urobku jest uwarunkowana, w dużej mierze, warunkami górniczo – geologicznymi, jakimi charakteryzuje się dany pokład węgla. Nie pozwala to na dokładne oszacowanie wielkości obciążenia przenośnika ścianowego, odpowiedzialnego za odstawę urobku z rejonu przodka wydobywczego. Wydajność przenośnika jest dobierana do maksymalnej, przewidywanej wydajności maszyny urabiającej [1, 8, 11]. Stosowane w polskich kopalniach węgla kamiennego rozwiązania techniczne, w większości przypadków nie zapewniają możliwości sterowania prędkością przenośnika ścianowego. Po uruchomieniu, przenośnik pracuje ze stałą (nominalną) prędkością. W nowoczesnych przenośnikach zgrzeblowych, coraz powszechniej, do zasilania silników napędowych są stosowane przemienniki częstotliwości, przykładem może być oferowany przez firmę Caterpillar napęd przenośników zgrzeblowych

typu VFD-A800/W800 lub rozwiązanie opracowane w ramach projektu ICON koordynowanego przez Instytut Techniki Górniczej KOMAG. Zastosowanie przemienników częstotliwości umożliwia regulację prędkości obrotowej silników napędowych, a z nią – regulację prędkości ruchu przenośnika, a tym samym jego wydajności [2, 9, 10, 15, 16]. W artykule przedstawiono opracowaną koncepcję algorytmu sterowania prędkością przenośnika zgrzeblowego, poprzez sterowanie nastaw przemienników częstotliwości, służących do zasilania jego silników napędowych.

## 2. Model obliczeniowy ścianowego przenośnika zgrzeblowego

Opracowanie koncepcji algorytmu sterowania prędkością ruchu przenośnika zgrzeblowego, poprzez zmianę częstotliwości napięcia zasilania silników elektrycznych, wymagało przeprowadzenia serii testów i prób numerycznych. Analizowano wpływ zmiany częstotliwości napięcia zasilania silników elektrycznych na wartość natężenia prądu w tych silnikach, przy różnym poziomie obciążenia górnej nitki łańcucha zgrzeblowego przenośnika. Do symulacji numerycznych posłużył model numeryczny przenośnika ścianowego typu RYBNIK 850, o długości 200 m, z dwoma silnikami napędowymi o mocy 315 kW. Model obliczeniowy składał się z dwóch modułów. Moduł pierwszy, to model fizyczny przenośnika zgrzeblowego (rys. 1). Składał się on z szeregu brył sztywnych, połączonych za pomocą więzów geometrycznych oraz elementów sprężysto – tłumiących. W modelu fizycznym zdefiniowano także wektory sił i momentów oraz sposób oddziaływania poszczególnych brył pomiędzy sobą. W modelu zabudowano również przetworniki stanu napięcia łańcucha zgrzeblowego na zejściu z bębnow napędowych na napędzie zwrotnym i wysypowym przenośnika. Drugi moduł modelu obliczeniowego składał się z modelu silników elektrycznych. Zastosowano dwa silniki elektryczne: jeden zlokalizowany na napędzie wysypowym, a drugi – na napędzie zwrotnym przenośnika. Oba silniki były zasilane poprzez przemienniki częstotliwości. Sposób zamodelowania silników elektrycznych pozwalał na zmianę prędkości obrotowej silników, poprzez zmianę częstotliwości napięcia ich zasilania [12, 14]. Pomiędzy modułami modelu obliczeniowego zdefiniowano sygnały wejściowe i wyjściowe, co pozwoliło na przeprowadzenie symulacji numerycznych z zastosowaniem techniki symulacji równoległej [3, 4, 5, 6, 7, 12, 13].



Rys. 1. Model obliczeniowy przenośnika zgrzeblowego. Model fizyczny przenośnika – przerywana linia zielona, model silników elektrycznych – przerywana linia pomarańczowa [12]

Strukturę modelu obliczeniowego, uwzględniającą sposób przepływu sygnałów pomiędzy modułami, przedstawiono na rysunku 1. Dodatkowo, w tabeli 1 opisano sygnały wejściowe i wyjściowe, z każdego modułu modelu obliczeniowego.

### Sygnały wejściowe i wyjściowe z poszczególnych modułów modelu obliczeniowego [12]

Tabela 1

	Sygnały wejściowe do modułu	Sygnały wyjściowe z modułu
Moduł modelu fizycznego przenośnika zgrzeblowego	$M_{wys}$ – moment napędowy na bębnie napędu wysypowego, $M_{zwr}$ – moment napędowy na bębnie napędu zwrotnego, $F_{obc}$ – wektor zewnętrznego obciążenia górnej nitki łańcucha zgrzeblowego.	$\omega_{wys}$ – prędkość obrotowa bębna na napędzie wysypowym, $\omega_{zwr}$ – prędkość obrotowa bębna na napędzie zwrotnym.
Moduł modeli silników elektrycznych	$\omega_{wys}$ – prędkość obrotowa bębna na napędzie wysypowym, $\omega_{zwr}$ – prędkość obrotowa bębna na napędzie zwrotnym, $H_{z_{wys}}$ – częstotliwość napięcia zasilania silnika elektrycznego napędu wysypowego, $H_{z_{zwr}}$ – częstotliwość napięcia zasilania silnika elektrycznego napędu zwrotnego.	$M_{wys}$ – moment napędowy na bębnie napędu wysypowego, $M_{zwr}$ – moment napędowy na bębnie napędu zwrotnego, $J_{wys}$ – natężenie prądu w silniku napędu wysypowego, $J_{zwr}$ – natężenie prądu w silniku napędu zwrotnego.

Przedstawiony model obliczeniowy zastosowano do przeprowadzenia symulacji numerycznych, w których silniki elektryczne były zasilane napięciem z częstotliwością równą 25 Hz, 35 Hz oraz 50 Hz. W odniesieniu do każdej z częstotliwości napięcia zasilania silników przeprowadzono symulację numeryczną pracy przenośnika, zwiększając obciążenie górnej nitki łańcucha zgrzeblowego co 50 kN, w zakresie od 0 do 400 kN.

### 3. Zmiany wartości natężenia prądu w silnikach elektrycznych, wynikające ze zmiany częstotliwości napięcia zasilania

W wyniku przeprowadzonych symulacji numerycznych otrzymano wartości natężenia prądu w silnikach elektrycznych przenośnika zgrzeblowego, zarejestrowanych podczas jego pracy. W tabeli 2 przedstawiono średnią wartość natężenia prądu w silnikach, podczas ustalonej pracy przenośnika, w odniesieniu do różnej częstotliwości napięcia zasilania silników napędowych, przy zmiennym poziomie obciążenia górnej nitki łańcucha zgrzeblowego. Przedstawiono również różnicę wartości natężenia prądu, w odniesieniu do zasilania silników elektrycznych napięciem z częstotliwością 25 i 35 Hz oraz 35 i 50 Hz, przy zachowaniu tego samego poziomu obciążenia przenośnika (wartości wektora siły docisku wybranych zgrzebeł do rynny przenośnika).

Stwierdzono następujące zależności:

- zmiana obciążenia górnej nitki łańcucha zgrzeblowego wpływa na zmianę wartości natężenia prądu w silnikach elektrycznych. Wartość natężenia prądu w silnikach jest wielkością proporcjonalną do wartości momentu, generowanego przez silniki przenośnika,
- suma wartości natężenia prądów zarejestrowanych w silnikach napędu wysypowego i zwrotnego jest proporcjonalna do wielkości obciążenia przenośnika, przy założeniu prawidłowej współpracy obu silników napędowych (to znaczy przy założeniu, że jeden z silników, za pośrednictwem łańcucha zgrzeblowego, nie obciąża dodatkowo drugiego silnika),
- zmiana częstotliwości napięcia zasilania silników elektrycznych umożliwia regulację prędkości przenośnika. Zmniejszenie częstotliwości napięcia zasilania skutkuje zwolnieniem ruchu przenośnika i powoduje wzrost wartości natężenia prądu w silnikach, przy zachowaniu niezmiennego obciążenia przenośnika. Z kolei wzrost częstotliwości skutkuje przyspieszeniem ruchu przenośnika oraz zmniejszeniem wartości natężenia prądu w silnikach, przy zachowaniu niezmiennego obciążenia przenośnika.

Zarówno w silniku napędu wysypowego, jak i napędu zwrotnego, średnia wartość natężenia prądu, przy zasilaniu napięciem o częstotliwości 50 Hz, wzrastała od wartości ok. 90 A w odniesieniu do symulacji pracy bez obciążenia, do wartości ok. 168 A przy maksymalnym obciążeniu przenośnika. W przypadku zasilania silników napięciem o częstotliwości 35 Hz, wartość natężenia prądu w silnikach napędowych wzrastała od wartości ok. 112 A przy braku obciążenia, do wartości ok. 180 A przy maksymalnym obciążeniu przenośnika. Analogicznie przy zasilaniu silników napięciem o częstotliwości 25 Hz, wzrost wartości natężenia prądu w silnikach następował od wartości ok. 123 A bez obciążenia, do wartości ok. 187 A przy maksymalnym obciążeniu.

Ponadto wraz ze wzrostem obciążenia przenośnika, różnica wartości natężenia prądu w silnikach napędowych, zarówno napędu wysypowego jak i zwrotnego, przy zasilaniu napięciem z częstotliwością 50 i 35 Hz, zmniejsza się od wartości ok. 22,5 A przy braku obciążenia, do wartości ok. 13 A przy maksymalnym obciążeniu. Średnia różnica wartości natężenia prądu w silniku, zlokalizowanym na napędzie wysypowym, przy zasilaniu napięciem z częstotliwością 50 i 35 Hz, wynosiła 17,73 A. Wartość tej różnicy w odniesieniu do silnika napędowego, zlokalizowanego na napędzie zwrotnym, wynosiła 17,5 A.

Różnica wartości natężenia prądu w obu silnikach napędowych, przy częstotliwości napięcia zasilania 25 i 35 Hz, zmniejszała się od ok. 10,5 A przy braku obciążenia, do ok. 6 A przy maksymalnym obciążeniu przenośnika. Wartość średnia różnicy natężenia prądu w silniku napędu wysypowego, podczas zasilania napięciem z częstotliwością 25 i 35 Hz, wynosiła 8,39 A, natomiast w odniesieniu do silnika napędu zwrotnego wartość ta wynosiła 8,29 A.

**Wartości natężenia prądu w silnikach napędowych przenośnika, przy zmiennych częstotliwościach napięcia zasilania oraz zmiennym obciążeniu przenośnika [12]**

Tabela 2

	0 kN	50 kN	100 kN	150 kN	200 kN	250 kN	300 kN	350 kN	400 kN	Średnia wartość różnicy natężenia prądu
Średnia wartość $J_{wys}$ przy $f_{Uz}=50\text{Hz}$ [A]	89,9	96,0	103,6	112,3	121,8	132,7	143,4	154,6	168,2	
Średnia wartość $J_{wys}$ przy $f_{Uz}=35\text{Hz}$ [A]	112,6	117,9	123,9	131,4	139,3	148,3	158,2	169,9	180,7	
Różnica wartości $J_{wys}$ przy $f_{Uz}=35$ i $f_{Uz}=50\text{Hz}$ [A]	22,7	21,9	20,3	19,1	17,5	15,6	14,8	15,3	12,5	<b>17,74</b>
Średnia wartość $J_{wys}$ przy $f_{Uz}=25\text{Hz}$ [A]	123,4	127,9	133,6	140,2	147,8	156,3	165,7	175,9	187,0	
Różnica wartości $J_{wys}$ przy $f_{Uz}=25$ i $f_{Uz}=35\text{Hz}$ [A]	10,8	10,0	9,7	8,8	8,5	8,0	7,5	6,0	6,3	<b>8,4</b>
Średnia wartość $J_{zwr}$ przy $f_{Uz}=50\text{Hz}$ [A]	89,8	95,9	103,4	112,4	122,3	132,9	143,9	155,3	167,9	
Średnia wartość $J_{zwr}$ przy $f_{Uz}=35\text{Hz}$ [A]	112,4	117,6	123,7	131,2	139,3	148,3	158,2	169,9	181,1	
Różnica wartości $J_{zwr}$ przy $f_{Uz}=35$ i $f_{Uz}=50\text{Hz}$ [A]	22,6	21,7	20,3	18,8	17,0	15,4	14,3	14,6	13,2	<b>17,54</b>
Średnia wartość $J_{zwr}$ przy $f_{Uz}=25\text{Hz}$ [A]	123,3	127,8	133,3	140,2	147,6	155,9	165,4	175,7	186,8	
Różnica wartości $J_{zwr}$ przy $f_{Uz}=25$ i $f_{Uz}=35\text{Hz}$ [A]	10,9	10,2	9,6	9,0	8,3	7,6	7,2	5,8	5,7	<b>8,25</b>

gdzie:  $J_{wys}$  – średnia wartość natężenia prądu w silniku, zlokalizowanym na napędzie wysypowym przenośnika;  $J_{zwr}$  – średnia wartość natężenia prądu w silniku, zlokalizowanym na napędzie zwrotnym przenośnika;  $f_{Uz}$  – częstotliwość napięcia zasilania.

#### 4. Koncepcja algorytmu sterowania prędkością ruchu przenośnika zgrzeblowego

Określenie charakteru zmian wartości natężenia prądu w silnikach przenośnika zgrzeblowego, wynikających ze zmiany częstotliwości napięcia ich zasilania, pozwoliło opracować koncepcję algorytmu sterowania jego prędkością.

Sterowanie prędkością, według opracowanej koncepcji algorytmu, ma na celu zmniejszenie prędkości ruchu przenośnika w sytuacji, w której struga urobku jest niewielka, bądź występuje chwilowa przerwa w jej generowaniu. Natomiast w sytuacji, gdy ilość urobku ulega zwiększeniu, następuje zwiększenie prędkości ruchu przenośnika, i jego wydajności niezbędnej do odstawy urobku znajdującego się na przenośniku. Pozwoliło to na uniknięcie sytuacji, w której przenośnik pracuje z pełną prędkością (wydajnością), przy braku lub małej strudze urobku. Korzyścią zmniejszenia prędkości ruchu przenośnika jest m.in. zmniejszenie ciernego zużycia jego podzespołów.

Niskie opory ruchu (małe obciążenia przenośnika) skutkują występowaniem niewielkich wartości natężenia prądu w silnikach elektrycznych podczas ruchu przenośnika. Wzrost oporów ruchu (zwiększenie obciążenia przenośnika) powoduje wzrost wartości natężenia prądu w tych silnikach. W koncepcji algorytmu sterowania, jako nośnik informacji o wielkości obciążenia przenośnika, postanowiono wykorzystać sumę wartości natężeń prądów w jego silnikach napędowych.

Schemat blokowy, przedstawiający koncepcję algorytmu sterowania prędkością ruchu przenośnika, przedstawiono na rysunku 2. Regulacja prędkości ruchu przenośnika, zgodnie z przedstawionym schematem, rozpoczyna się od określenia bieżącej prędkości ruchu przenośnika ( $Pr$ ). Bieżąca prędkość ruchu przenośnika, określana na podstawie aktualnej wartości częstotliwości napięcia zasilania silników napędowych, jest identyfikowana jako: mała ( $Pr3$ ), średnia ( $Pr2$ ) lub duża ( $Pr1$ ). W kolejnym kroku następuje odczytanie sumy wartości natężenia prądów w silnikach elektrycznych ( $\sum J$ ). Wartość ta jest sumą wartości średniej natężenia prądów w zdefiniowanym okresie czasu. Następnie odczytana wartość poprzez jej porównanie z założoną wartością minimalną i maksymalną, przypisywana jest do jednego z trzech przedziałów. Założone wartości minimalne i maksymalne różnią się w zależności od bieżącej wartości prędkości łańcucha. W sytuacji, w której odczytana wartość sumy natężenia prądów w silnikach jest mniejsza od założonej wartości minimalnej zadany poziom prędkości przenośnika ustawiany jest na wartość równą 3, co odpowiada pracy z małą prędkością. W sytuacji, w której odczytana wartość sumy natężenia prądów w silnikach napędowych jest większa od założonej wartości minimalnej, a jednocześnie mniejsza od założonej wartości maksymalnej, zadany poziom prędkości przenośnika przyjmuje wartość 2, co odpowiada pracy ze średnią prędkością. Z kolei w sytuacji, w której wartość odczytana jest większa od założonej wartości maksymalnej, zadany poziom prędkości przenośnika ustawiany jest na wartość równą 1, odpowiadającą pracy z dużą prędkością.

Na podstawie wartości sygnału opisującego zadany poziom prędkości nastąpi zmiana wartości częstotliwości napięcia zasilania silników napędowych przenośnika. Wynikiem tej zmiany będzie zmiana prędkości ruchu przenośnika. Po upływie założonej zwłoki czasowej następuje ponowne określenie bieżącej wartości prędkości przenośnika, a następnie powtórzenie całego cyklu.

Obecnie standardowa częstotliwość napięcia zasilania silników elektrycznych wynosi 50 Hz. W odniesieniu do tej częstotliwości przyjęto trzy poziomy wartości sumy natężenia

prądów w silnikach elektrycznych. Na podstawie zdefiniowanych przedziałów, zgodnie z założonymi w algorytmie sterowania regułami, jest generowany zadany poziom prędkości ruchu przenośnika. Przyjęte przedziały wartości sumy natężenia prądu są następujące:

1. suma wartości natężenia prądów, zmierzona w silnikach elektrycznych, **jest mniejsza od 50%** wartości podwojonego natężenia prądu znamionowego,
2. suma wartości natężenia prądów, zmierzona w silnikach elektrycznych, **jest większa od** połowy wartości podwojonego natężenia prądu znamionowego, a jednocześnie **jest mniejsza od 70%** wartości podwojonego natężenia prądu znamionowego,
3. suma wartości natężenia prądów, zmierzona w silnikach elektrycznych, **jest większa od 70%** wartości podwojonego natężenia prądu znamionowego.

W przypadku 1., wartość zadana prędkości ruchu przenośnika jest ustawiana na wartość odpowiadającą pracy z małą prędkością ruchu łańcucha. W celu uzyskania ruchu wolnego częstotliwość napięcia zasilania silników elektrycznych zostaje ustawiona na wartości 25 Hz.

W przypadku 2., wartość zadana prędkości ruchu przenośnika jest ustawiona na wartość odpowiadającą pracy ze średnią prędkością ruchu łańcucha. W tej sytuacji wartość częstotliwości napięcia zasilania silników elektrycznych jest ustawiana na 35 Hz.

W przypadku 3., wartość zadana prędkości ruchu przenośnika jest przyjmowana jako wartość odpowiadająca pracy z szybkim ruchem łańcucha. Przy ruchu szybkim, wartość częstotliwości napięcia zasilania silników przenośnika wynosi 50 Hz.

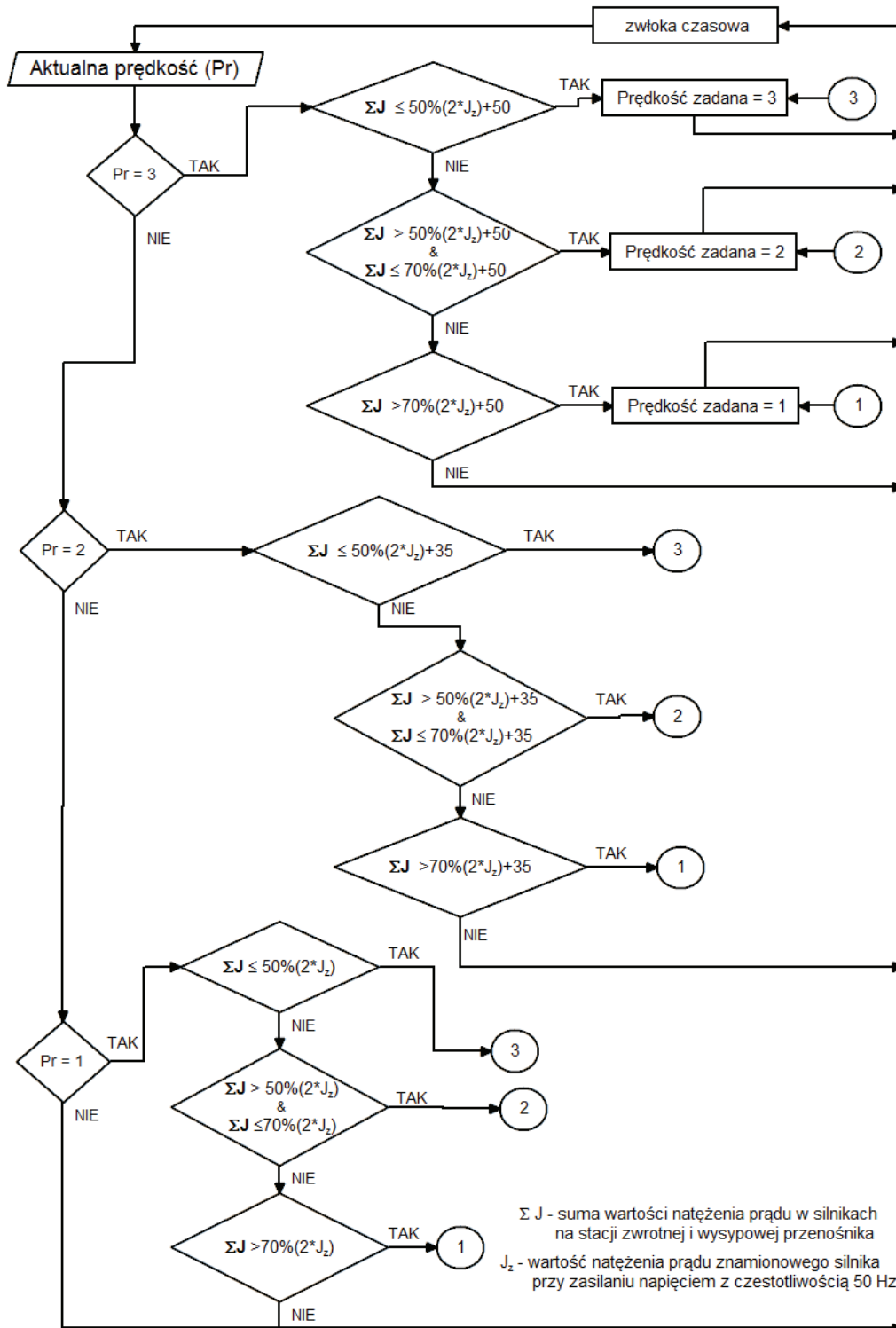
Biorąc pod uwagę fakt, że zmiana wartości częstotliwości napięcia zasilania silników elektrycznych powoduje również zmianę wartości natężenia prądu w silnikach, przy niezmiennym poziomie obciążenia, w algorytmie wprowadzono korekty, uwzględniające bieżącą częstotliwość napięcia zasilania silników przenośnika. W tym celu w algorytmie jest kontrolowany poziom prędkości ruchu przenośnika. Następnie modyfikacji podlegają granice przedziałów wartości sumy natężenia prądów, decydujące o zadanym poziomie prędkości ruchu przenośnika. Wartości korekt granicy przedziałów sumy natężenia prądów wynikają z wielkości zmian wartości natężenia prądów w silnikach elektrycznych, spowodowanych zmianą częstotliwości napięcia zasilania silników (tabela 2).

W przypadku ruchu przenośnika z małą wartością prędkości, do wartości 50% i 70% podwojonego natężenia prądu znamionowego, należy dodać wartość 50 A (suma średniej różnicy wartości natężenia prądów przy zasilaniu silników napięciem z częstotliwością 50 i 35 Hz oraz średniej różnicy wartości natężenia prądów przy zasilaniu silników napięciem z częstotliwością 35 i 25 Hz, zarówno w odniesieniu do silnika zlokalizowanego na napędzie wysypowym, jak i zwrotnym – tabela 2). W sytuacji, w której przenośnik pracuje z małą prędkością (ruch wolny – częstotliwość zasilania 25 Hz), przedziały wartości sumy natężenia prądów w silnikach, na podstawie których jest generowana wartość zadana prędkości ruchu, prezentują się następująco:

1. suma wartości natężenia prądów, zmierzonych w silnikach elektrycznych, **jest mniejsza** od połowy wartości podwojonego natężenia prądu znamionowego, przy częstotliwości napięcia zasilania równej 50 Hz, **powiększonego o 50 A**,
2. suma wartości natężenia prądów, zmierzonych w silnikach elektrycznych, **jest większa** od połowy wartości podwojonego natężenia prądu znamionowego, przy zasilaniu napięciem z częstotliwością 50 Hz, **powiększonego o 50 A**, a jednocześnie

jest mniejsza od 70% wartości podwojonego natężenia prądu znamionowego, przy zasilaniu napięciem z częstotliwością 50 Hz, powiększonego o 50 A,

- suma wartości natężenia prądów, zmierzonych w silnikach elektrycznych, jest większa od 70% wartości podwojonego natężenia prądu znamionowego, przy zasilaniu napięciem z częstotliwością 50 Hz, powiększonego o 50 A.



Rys. 2. Schemat blokowy przedstawiający koncepcję algorytmu sterowania prędkością przonośnika zgrzeblowego [12]



W przypadku pracy przenośnika ze średnią wartością prędkości, do wartości 50% i 70% podwojonego natężenia prądu znamionowego należy dodać wartość 35 A (suma średniej różnicy wartości natężenia prądów przy zasilaniu silników napięciem z częstotliwością 50 i 35 Hz w odniesieniu do obu silników elektrycznych – tabela 2). W tym przypadku przedział wartości sumy natężeń prądów, decydujący o zadanym poziomie prędkości przenośnika, jest następujący:

1. suma wartości natężenia prądów, zmierzonych w silnikach elektrycznych, **jest mniejsza** od połowy wartości podwojonego natężenia prądu znamionowego, przy zasilaniu napięciem z częstotliwością 50 Hz, **powiększonego o 35 A**,
2. suma wartości natężenia prądów, zmierzonych w silnikach elektrycznych, **jest większa** od połowy wartości podwojonego natężenia prądu znamionowego, przy zasilaniu napięciem z częstotliwością 50 Hz, **powiększonego o 35 A**, a jednocześnie **jest mniejsza** od 70% wartości podwojonego natężenia prądu znamionowego, przy zasilaniu napięciem z częstotliwością 50 Hz, **powiększonego o 35 A**,
3. suma wartości natężenia prądów, zmierzonych w silnikach elektrycznych, **jest większa** od 70% wartości podwojonego natężenia prądu znamionowego, przy zasilaniu napięciem z częstotliwością 50 Hz, **powiększonego o 35 A**.

Odczytywanie wartości sumy natężenia prądów w silnikach napędowych będzie się odbywać w pętli czasowej, zgodnie ze zdefiniowanym interwałem czasowym. Po każdym odczytaniu wartości, na podstawie reguł opisujących algorytm sterowania, będzie generowany zadany poziom prędkości pracy przenośnika, a wraz z nim – bieżące nastawy przemienników częstotliwości.

Suma wartości natężenia prądów w silnikach będzie mierzona jako suma wartości średnich natężenia prądów w silniku na napędzie wysypowym i zwrotnym przenośnika, w przedziale czasu równym okresowi próbkowania.

## 5. Podsumowanie

Wartość natężenia prądu w silniku elektrycznym jest proporcjonalna do wielkości jego obciążenia, ponieważ silniki generują moment, niezbędny do pokonania oporów ruchu przenośnika, na które składają się opory własne ruchu przenośnika oraz opory wynikające z obciążenia przenośnika transportowanym urobkiem. Analizując pracę przenośnika zgrzeblowego z dwoma silnikami napędowymi, przy założeniu ich właściwej współpracy, można stwierdzić, że suma momentów generowanych przez nie, po uwzględnieniu przełożenia reduktora, jest równa sumie oporów własnych ruchu przenośnika oraz oporów, wynikających z obciążenia przenośnika transportowanym urobkiem. Uwzględniając powyższe oraz fakt, że wartość natężenia prądu w silniku jest proporcjonalna do wartości generowanego przezeń momentu, można wnioskować, że wartość sumy natężenia prądów w obu silnikach napędowych jest proporcjonalna do wielkości oporów, jakie silniki przenośnika muszą pokonać podczas pracy.

Jako nośnik informacji o sumarycznej wielkości oporów ruchu przenośnika, w procesie regulacji prędkości jego ruchu, zastosowano sumę wartości natężenia prądów silników elektrycznych przenośnika. Na podstawie tej informacji może być szacowany poziom obciążenia przenośnika wynikający z ilości transportowanego urobku.

Sterowanie prędkością łańcucha w przenośniku jest możliwe, gdy silniki są zasilane za pomocą przemienników częstotliwości. W przedstawionej koncepcji algorytmu sterowania prędkością pracy przenośnika, wykorzystano sumę wartości natężeń prądów w jego silnikach, jako nośnik informacji o jego bieżącym obciążeniu.

W przedstawionej koncepcji algorytmu sterowania prędkością ruchu łańcucha przenośnika zgrzeblowego zdefiniowano trzy poziomy prędkości (mała, średnia i duża prędkość ruchu). Przedstawione podejście regulacji prędkości nie wyklucza jednak zdefiniowanie dowolnej liczby przedziałów prędkości ruchu.

Przedstawione w artykule granice przedziałów wartości sumy natężenia prądów w silnikach napędowych przenośnika opracowano w odniesieniu do zastosowanych w modelu obliczeniowym silników o mocy 315 kW. Zastosowanie innego rodzaju silnika wymagałoby korekty wartości natężenia prądów w silnikach, o jakie należy zmienić granice przedziałów, decydujących o przypisaniu do poszczególnych poziomów prędkości.

Proponowana koncepcja regulacji prędkości łańcucha pozwoli na zmniejszenie zużycia jego podzespołów, poprzez ograniczenie przebiegu maszyny w sytuacjach, gdy maszyna urabiająca generuje małą strugę urobku lub przemieszcza się ruchem jałowym.

Koncepcję sterowania prędkością ruchu przenośnika opracowano przy założeniu prawidłowej współpracy silników, zlokalizowanych na napędzie wysypowym i zwrotnym przenośnika, tj. sytuacji, w których silniki napędowe są obciążone równomiernie, a jeden z silników nie powoduje zwiększenia obciążenia drugiego poprzez łańcuch zgrzeblowy. W sytuacji nieprawidłowej współpracy obu silników elektrycznych, wartość średnia natężenia prądów w silnikach może być zawyżona. Opracowanie algorytmu, czuwającego nad poprawną współpracą obu silników, jest przedmiotem kolejnych prac badawczych, związanych ze sterowaniem pracą przenośnika zgrzeblowego.

## Literatura

- [1] Dolipski M.: Dynamika przenośników łańcuchowych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997
- [2] Drwięga A., Szewerda K., Tytko S.: Zagadnienia regulacji obciążeń napędów w wysokowydajnym przenośniku zgrzeblowym kompleksu ścianowego. Nowoczesne metody eksploatacji węgla i skał zwięzłych. Monografia, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków 2013 s. 375-384
- [3] Herbuś K. and Ociepka P. 2015, Analysis of the Hexapod Work Space using integration of a CAD/CAE system and the LabVIEW software IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 95 012096
- [4] Herbuś K. and Ociepka P. 2015, Integration of the virtual 3D model of a control system with the virtual controller IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 95 012084
- [5] Herbuś K. and Ociepka P. 2016, Integration of the virtual model of a Stewart platform with the avatar of a vehicle in a virtual reality IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 145 042018
- [6] Herbuś K., Kost G., Reclik D., Świder J.: Integration of a virtual 3D model of a robot manipulator with its tangible model (phantom), Advanced Materials Research. 837 (2014) 582-587

- [7] Herbuś K., Ociepka P.: Mapping of the Characteristics of a Drive Functioning in the System of CAD Class Using the Integration of a Virtual Controller with a Virtual Model of a Drive, *Applied Mechanics and Materials*. 809-810 (2015) 1249-1254
- [8] Jaszczuk M.: Systemy zintegrowanego sterowania układem technologicznym ściana wydobywcza – punkt załadowniczy. Seria: Innowacyjne techniki i technologie mechanizacyjne. Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, Gliwice 2008
- [9] 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. Ścieżka programowa In-Tech. Gliwice, 2012 (materiały niepublikowane)
- [10] Przybyłka J. : Napędy elektryczne o regulowanej prędkości obrotowej produkcji DFME DAMEL S.A. do przenośników taśmowych. *Transport Przemysłowy i maszyny robocze* 1(27)/2015 str. 37 -39
- [11] Suchoń J.: Górnictwo przenośniki zgrzeblowe. Budowa i zastosowanie. Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2012
- [12] Szewerda K.: Metoda parametryzacji i doboru algorytmów sterowania przenośników zgrzeblowych. Praca statutowa Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2016, (materiały niepublikowane)
- [13] Szewerda K.: Wirtualne prototypowanie w tworzeniu algorytmu sterowania przenośnikiem zgrzeblowym. KOMTECH 2014, Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo - Efektywność - Niezawodność, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2014 s. 195-206
- [14] Świder J., Herbuś K., Szewerda K.: Analysis of load unevenness of chain conveyor's driving motors on the basis of numerical simulations. *J. Achiev. Mater. Manuf. Eng.* 2015 nr 73/2 s. 75, ISSN 1734-8412
- [15] U. Paschedag: The Intelligence Factor. *World Coal* Volume 18 Number 6, June 2009 pp.14-20
- [16] [www.cat.com/pl\\_PL/products/new/equipment/underground-longwall.html](http://www.cat.com/pl_PL/products/new/equipment/underground-longwall.html)

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.