

**Zdzisław Budzyński, Przemysław Deja**  
**CMG KOMAG, Gliwice**

## **BADANIA STANOWISKOWE SYSTEMU POSUWU KOMBAJNU Z DWOMA SILNIKAMI ZINTEGROWANYMI Z PRZEMIENNIKAMI CZĘSTOTLIWOŚCI**

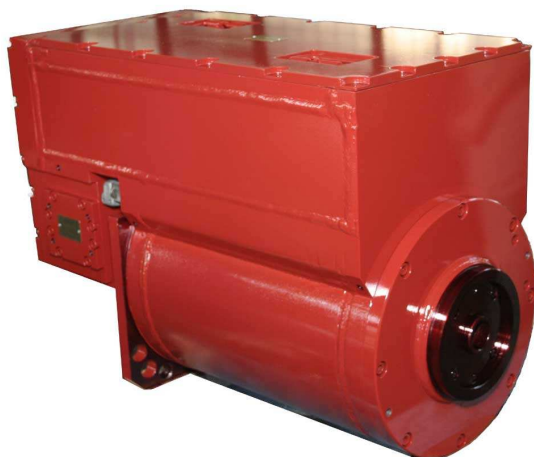
### **STAND TESTS OF SHEARER ADVANCE SYSTEM WITH TWO INTEGRATED MOTORS WITH FERQUENCY TRANSDUCERS**

**Abstract:** Results of testing the shearer advance system with two motors integrated with frequency transducers were presented. Comparison of new solution of advance drive system, which consists in implementation of two haulers in which motors of 1000 V supply voltage are installed (each of them is supplied from frequency transducer integrated with the motor) with currently used system, where two haulers with motors of 480V are used and they are supplied from one frequency transducer installed outside the haulers, was the objective of research work conducted by the KOMAG Centre.

#### **1. Wstęp**

Przedmiotem badań przeprowadzonych na stanowisku badawczym w CMG KOMAG był nowy system posuwu kombajnu ścianowego. Wykonany w ramach projektu celowego, realizowanego przez DFME DAMEL S.A. i CMG KOMAG przy współpracy z firmą ENEL Sp. z o. o. Silnik typu SG3FB-200S-4A zintegrowany z przemiennikiem częstotliwości przewidziany jest m. in. do napędu posuwu węglowych kombajnów ścianowych. Przeprowadzone wcześniej badania laboratoryjne silnika w KOMAG-u oraz badania typu przeprowadzone w DAMEL-u potwierdziły słuszność przyjętych założeń oraz prawidłowość działania silnika.

#### **2. Silnik SG3FB 200S-4A**



*Rys. 1. Silnik 60 kW zintegrowany z przemiennikiem częstotliwości*

Opracowany w ramach ww. projektu celowego silnik budowy przeciwwybuchowej zintegrowany z przemiennikiem częstotliwości i oznaczony jest typem SG3FB-200S-4A, a parametry znamionowe silnika są następujące:

$P_N=60\text{kW}$   
 $U_N=1000\text{V} / 50\text{Hz}$   
 $I_N=44,5\text{A}$   
 $n=1458\text{min}^{-1}$   
 $M_N=393\text{Nm}$   
 $\cos\phi_N=0,85$   
 $\eta=91,5\%$

Więcej informacji o przedstawionym silniku w [1].

#### **3. Cel i metodyka badań**

Celem badań było sprawdzenie poprawności działania oraz porównanie nowego rozwiązania napędu posuwu kombajnu ścianowego z systemem obecnie stosowanym. Dotychczasowy system posuwu w kombajnach zasilanych napięciem 1000V polega na zastosowaniu transformatora obniżającego napięcie do 480V oraz zastosowanie jednego przemiennika częstotliwości do sterowania kierunkiem i prędkością posuwu dwóch ciągników z silnikami indukcyjnymi. System ten posiada wiele wad jak np.: nierówna praca obu napędów oraz drgania. Konieczność stosowania drugiego napięcia zasilania wymaga zastosowania transformatora i zabezpieczeń w sieci 480V. Nowy system posuwu polega na zastosowaniu dwóch ciągników, z których każdy jest wyposażony w zintegrowany z przemiennikiem częstotliwości silnik na

napięcie 1000V. System jest prosty w budowie, a możliwość wyrównywania obciążeń pozwala na pełne wykorzystanie zainstalowanej mocy. Zastosowanie dwóch niezależnych napędów umożliwia w trybie awaryjnym pracę jednym napędem. Dla celów porównawczych, podczas badań, dotychczasowy system posuwu został zrealizowany przez odpowiednie przełączenia w układzie posuwu tak, aby z jednego przekształtnika zasilac oba silniki z tą różnicą, że napięcie zasilania wyniosło 1000V, a nie 480 V. Badania przeprowadzono na układzie zbliżonym do rzeczywistego. Na stanowisku badawczym została posadowiona trasa przenośnika składająca się z ~30 eksploatowanych przez kopalnie rynien, której konfiguracja odwzorowywała rzeczywisty stan w zakresie prostoliniowości trasy przez odpowiednie usytuowanie rynien. Model odwzorowujący kombajn składał się z dwóch ciągników połączonych mechanicznie z zachowaniem rozstawu kół trakowych jak w kombajnie. Model został dociążony dodatkową masą 7,5 t, aby masa modelu odpowiadała masie kombajnu. Opory skrawania i inne opory (np. tarcia) odwzorowano kołowrotom hydraulicznym, który symulował siłę uciążu kombajnu (F). Zadawanie prędkości (poprzez regulację częstotliwości) oraz kierunku odbywało się za pośrednictwem komputera lub bezpośrednio na wejściu do sterownika przemiennika. W czasie prób badano współpracę obu ciągników dla następujących przypadków:

- praca obu ciągników z silnikami zasilanymi z jednego przemiennika bez sterownika,
- praca obu ciągników z silnikami zintegrowanymi z przemiennikiem ze sterowaniem za pośrednictwem laptopa,
- praca pojedynczego ciągnika z silnikiem zintegrowanym z przemiennikiem.

Nowe rozwiązanie napędu posuwu polegające na zastosowaniu dwóch ciągników, z których każdy posiada własny przemiennik częstotliwości zostało porównane z dotychczasowym systemem polegającym na zasilaniu dwóch ciągników z jednego przemiennika częstotliwości. Oprócz prób porównawczych systemu posuwu obecnie stosowanego i nowego rozwiązania, zostały przeprowadzone badania ruchowe układu z jednym ciągnikiem.

Próby zostały wykonane dla przypadków:

- rozruch w czasie pracy manewrowej,
- rozruch z symulacją obciążenia,

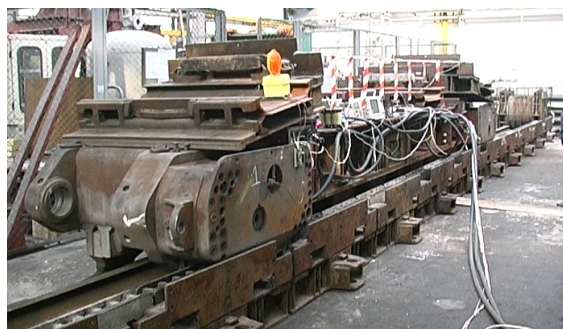
- praca z różnymi prędkościami dla różnych obciążeń,
- wyłączanie jednego z ciągników w czasie pracy.

W trakcie prowadzenia badań mierzono i rejestrowano parametry pracy ścianowego kombajnu węglowego, które oznaczono następująco:

- natężenia prądu silnika ciągnika lewego –  $I_{M1}$ ,
- natężenia prądu silnika ciągnika prawego –  $I_{M2}$ ,
- siłę występującą w linii – F.

#### 4. Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze zostało zlokalizowane w hali badawczej CMG KOMAG. Dwa ciągniki elektryczne CP-55 z zabudowanymi silnikami zintegrowanymi z przemiennikami częstotliwości, zostały ułożone na rynnach przenośnika ścianowego o szerokości 850mm. Do symulacji obciążenia kombajnu związanego ze skrawaniem wykorzystano automatyczny kołowrót bezpieczeństwa KBH-5.

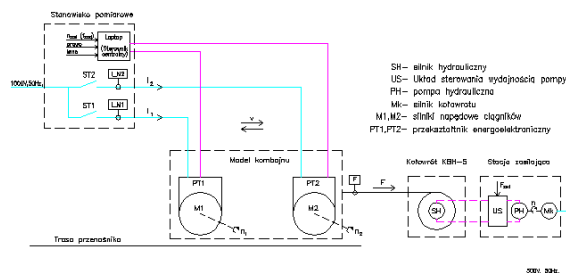


Rys. 2. Stanowisko badawcze

Na stanowisku badawczym wykonano 37 prób dla ww. przypadków. W dalszej części artykułu przedstawiono analizę wybranych, reprezentatywnych wyników.

#### 5. Analiza wyników badań dla dotychczasowego systemu posuwu

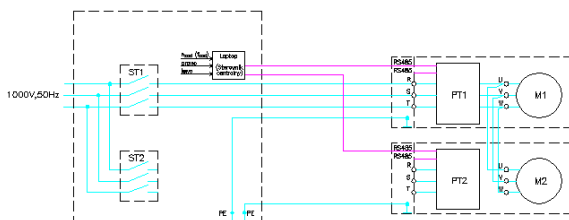
##### 5.1 Praca manewrowa bez urabiania ( $F=0$ )



Rys. 3. Schemat układu pomiarowego

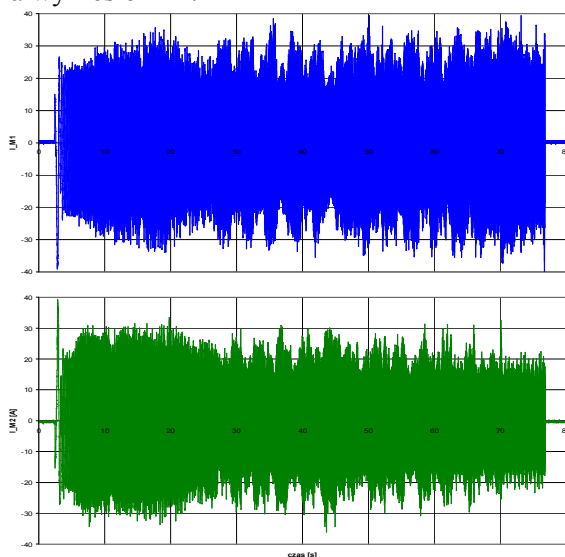
Badano przemieszczanie się kombajnu bez urabiania ( $F=0$ ) dla pracy obu silników SG3FB200S-4A zasilanych z jednego przeziennika częstotliwości (obecnie stosowany system posuwu) sterowanych wg schematu ideowego (rys.4) dla przypadków:

- rozruch,
- praca,
- hamowanie.



Rys. 4. Schemat ideowy obecnie stosowanego systemu posuwu

Próby wykonano dla wielu prędkości zadawanych dla obu kierunków jazdy. Analizując wyniki stwierdzono asymetrię obciążenia silników, która jest zdecydowanie większa dla częstotliwości powyżej 50Hz, czyli w zakresie, w której napęd pracuje ze stałą mocą. Podczas badań stwierdzono, że prąd rozruchowy nieznacznie przekracza prąd w stanie ustalonym. W czasie hamowania nie zarejestrowano oddawania energii na rezystory. Bardzo mały prąd, rzędu kilku amper, jest prądem wyrównawczym, płynącym pomiędzy silnikami i wynika z różnicy sił elektromotorycznych SEM na zaciskach silników po ich wyłączeniu. Przebiegi prądów dla prędkości zadanej  $1,6 n_n$  (80Hz) przedstawiono na wykresie nr 1.



Wykres 1 . Próba nr 15 przejazd w prawo, bez obciążenia, zasilanie z jednego przeziennika częstotliwość (80Hz); a)  $I_{M1}$ , b)  $I_{M2}$

## 5.2 Praca z symulacją oporów urabiania ( $F \neq 0$ )

Próby wykonano dla wielu prędkości zadanych dla kierunku jazdy tylko w lewo. Wynikało to z posadowienia kołowrotu, na którym zadawano (symulowano) opory urabiania. Maksymalne siły uzyskane w linii odpowiadały 30% wartości rzeczywistych oporów kombajnu w ścianie wydobywczej.

Z szeregu prób do analizy wybrano przypadki pracy z:

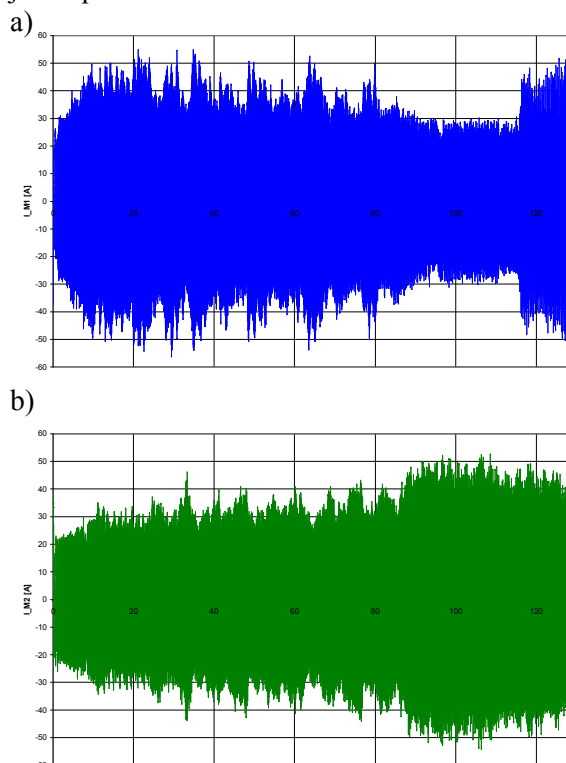
- prędkością  $1,0 n_n$  (50Hz); próba nr 20 (wykres nr 2),
- prędkością  $1,5 n_n$  (75Hz); próba nr 3 (wykres nr 3).

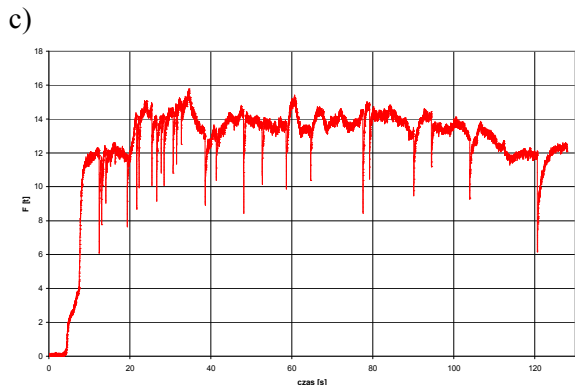
gdzie:  $n_n$  – obroty znamionowe silnika.

Analizując te przypadki można stwierdzić występowanie asymetrii obciążeń silników. Asymetria jest niezależna od obciążenia i nieznacznie różnie z prędkością posuwu.

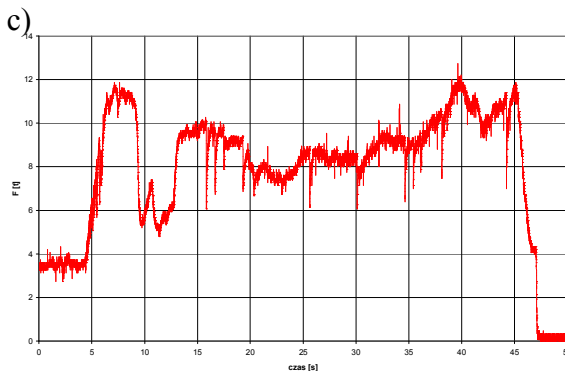
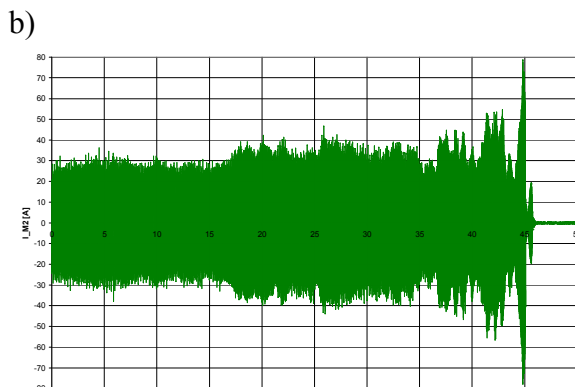
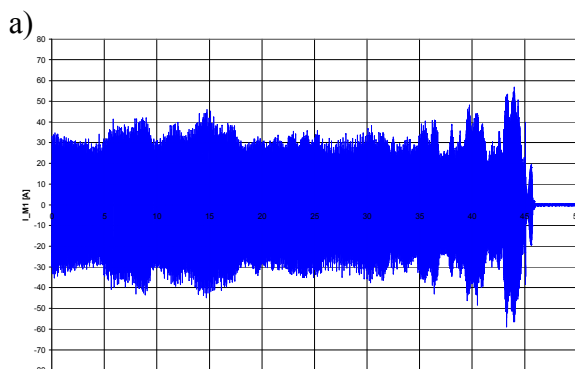
W wyniku analizy stwierdzono, że wartość prądu rozruchowego nieznacznie przekracza średnią wartość stanu ustalonego, równocześnie nie przekraczając maksymalnej wartości prądu w badanym przedziale czasowym.

Płynący prąd, zarejestrowany w czasie próby nr 3 jest prądem wyrównawczym płynącym pomiędzy silnikami po wyłączeniu analogicznie jak w pkt 5.1.





Wykres 2. Próba nr 20 przejazd w prawo, z obciążeniem, zasilanie z jednego przemiennika częstotliwości (50Hz); a)  $I_{M1}$ , b)  $I_{M2}$  c)  $F$

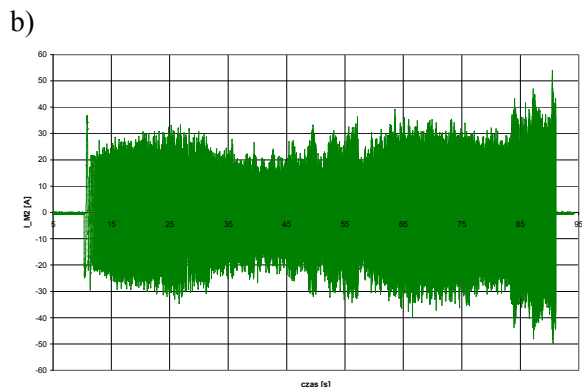
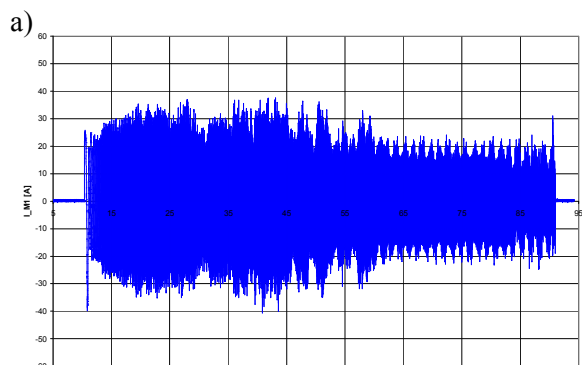


Wykres 3. Próba nr 3, przejazd w lewo, z obciążeniem, zasilanie z jednego przemiennika częstotliwości (75Hz); a)  $I_{M1}$ , b)  $I_{M2}$  c)  $F$

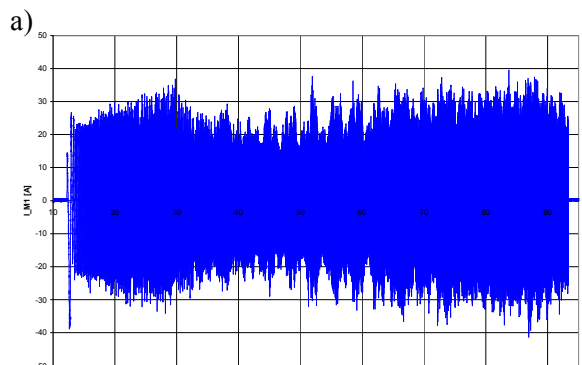
### 5.3. Praca układu napędowego bez obciążenia w obu kierunkach jazdy z tą samą prędkością

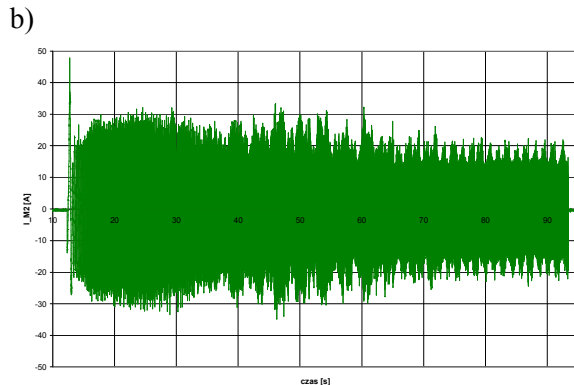
Do analizy wybrano próby nr 16 i 17 (wykresy nr 4 i 5), które wykonano na tym samym odcinku trasy przonośnika w obu kierunkach jazdy dla zadanej prędkości  $1,6 n_N$  (80Hz).

Porównując przebiegi prądów dla obu kierunków jazdy można stwierdzić, że po okresie pracy, w której następują wahania obciążenia następuje wyraźny wzrost wartości prądu w napędzie pchającym kombajn.



Wykres 4. Próba nr 16, przejazd w lewo, bez obciążenia, zasilanie z jednego przemiennika częstotliwości (80Hz); a)  $I_{M1}$ , b)  $I_{M2}$





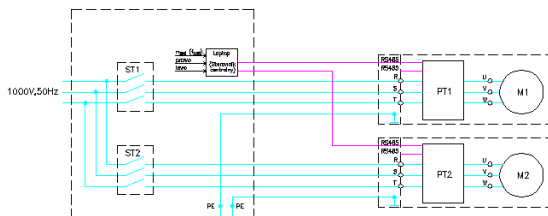
Wykres 5. Próba nr 17, przejazd w prawo, bez obciążenia, zasilanie z jednego przemiennika częstotliwości (80Hz); a)  $I_{M1}$ , b)  $I_{M2}$

## 6. Analiza wyników badań dla systemu posuwu z silnikami zintegrowanymi z przemiennikami częstotliwości

Sterowanie silnikami odbywało się za pośrednictwem komputera, który był połączony z wejściem RS485 silnika przewodem (skrętka). Sterowanie wyrównywaniem obciążeń odbywało się ręcznie przez zmniejszanie lub zwiększanie częstotliwości nastawionej (zadanej).

### 6.1. Praca manewrowa bez urabiania ( $F=0$ )

Praca odwzorowująca przemieszczanie się kombajnu bez obciążenia ( $F=0$ ) dla obydwu silników SG3FB200S-4A została zrealizowana wg schematu ideowego rys.5. W czasie prób analizowano zachowanie się kombajnu w czasie rozruchu i jazdy w prawo. Próby wykonano dla wielu prędkości zadanych dla obu kierunków jazdy. Do analizy wybrano przypadki pracy z prędkością zadaną znamionową (próba nr 8 – wykres nr 6) i maksymalną przewidzianą dla pracy manewrowej (próba nr 33 – wykres nr 7).



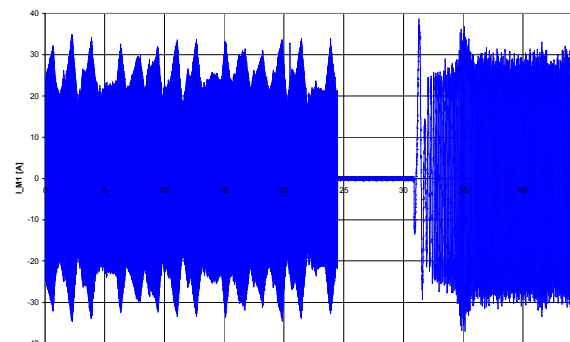
Rys. 5. Schemat ideowy sterowania silnikami zintegrowanymi z przemiennikiem częstotliwości

Analizując w/w przypadki pracy z prędkością ustaloną stwierdzono, że ręczne sterowanie wyrównywaniem obciążeń mimo, że nie doskonałe, gdyż związane ze zwłoką czasową, powstającą między obserwacją pomiarów prądu,

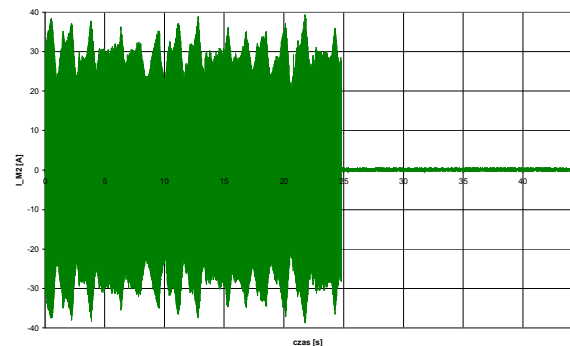
a reakcją operatora komputera, daje pozytywne wyniki.

W czasie próby nr 8 testowano zachowanie się napędu w przypadku wyłączenia obu silników, a następnie uruchomiono tylko silnik M1. Podczas tej próby sterowano wyrównywaniem obciążeń silnika M2 korygując częstotliwość zadaną w przekaźniku PT2. Do prędkości  $2,0 n_N$  amplituda prądów obu silników nie wzrasta. W czasie próby nr 8 po uruchomieniu procedury hamowania kombajn zatrzymał się bez wybiegu. W czasie tych prób nie zanotowano oddawania energii na rezystory.

a)

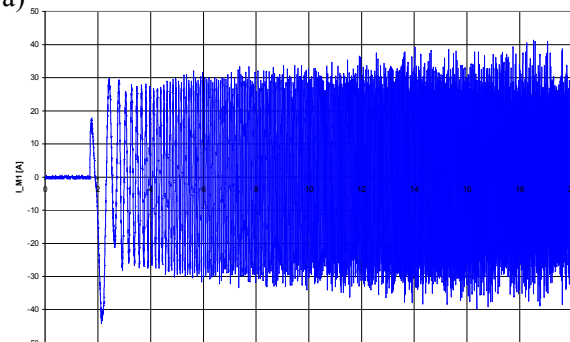


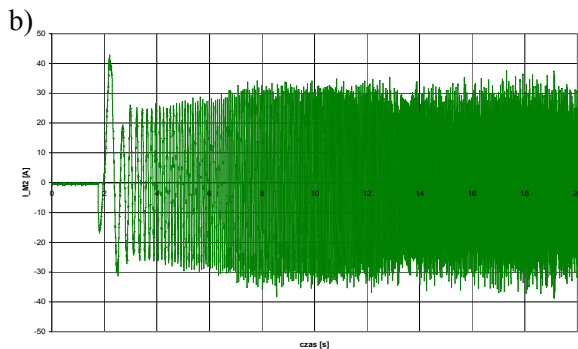
b)



Wykres 6. Próba nr 8, przejazd w prawo, bez obciążenia, zasilanie z dwóch przemienników częstotliwości (50Hz); a)  $I_{M1}$ , b)  $I_{M2}$

a)

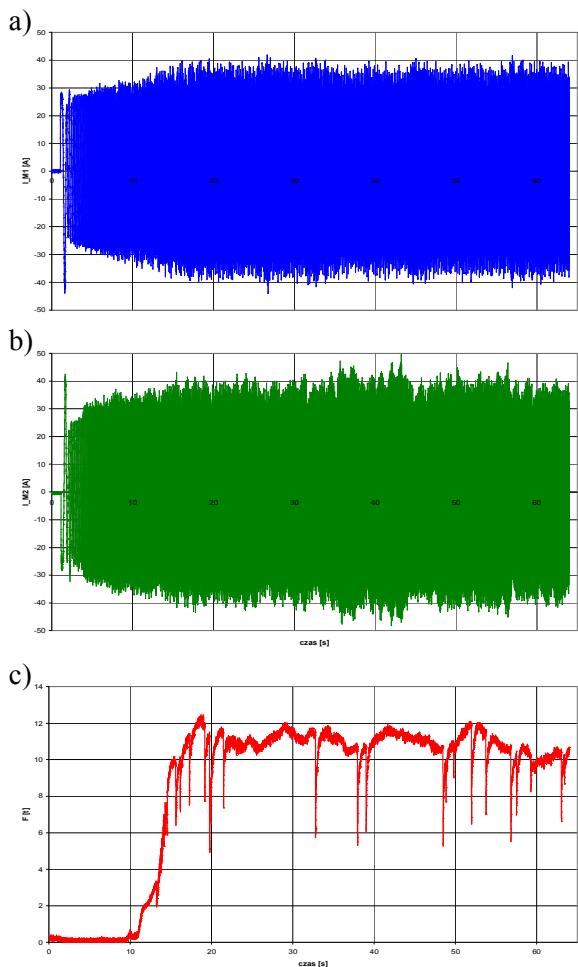




Wykres 7. Próba nr 33, przejazd w prawo, z obciążeniem, zasilanie z dwóch przenienników częstotliwości (100Hz); a)  $I_{M1}$ , b)  $I_{M2}$

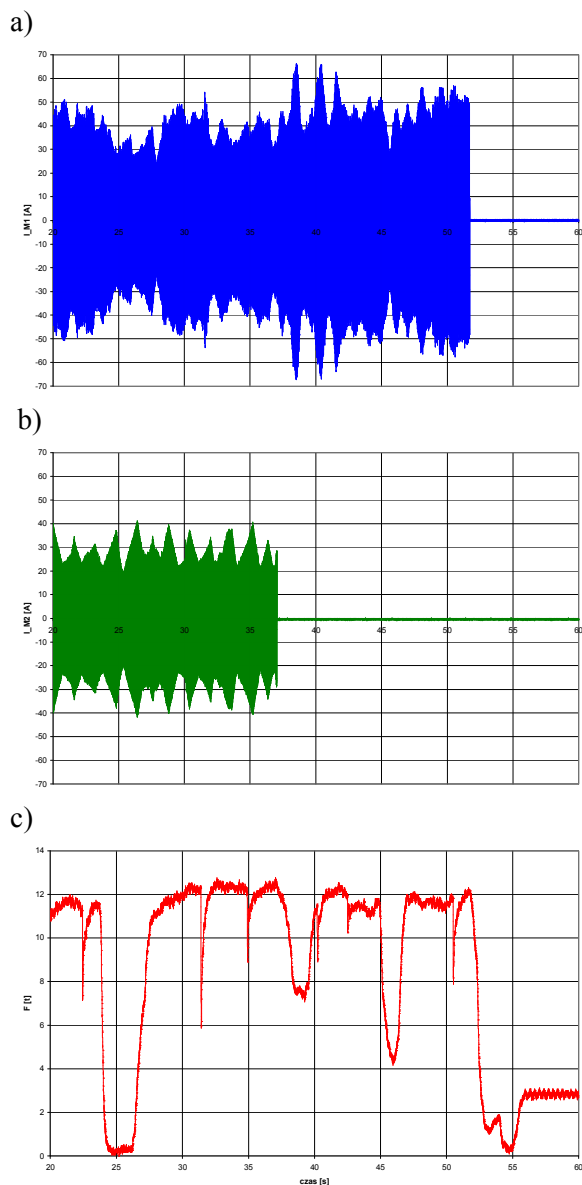
## 6.2. Praca z symulacją oporów urabiania ( $F \neq 0$ )

Próby wykonano dla prędkości znamionowej tylko dla kierunku jazdy w lewo. Wynikało to z miejsca posadowienia kołowrotu do symulacji oporów urabiania. Maksymalna siła uciągu była analogiczna jak w próbach wg pkt 5.2.



Wykres 8. Próba nr 32, przejazd w lewo, z obciążeniem, zasilanie z dwóch przenienników częstotliwości (50Hz); a)  $I_{M1}$ , b)  $I_{M2}$ , c)  $F$

W czasie próby nr 32 – wykres nr 8 (rozruch i praca ustalona) wartość prądu rozruchu wzrosła nieznacznie powyżej średniej wartości prądu w badanym cyklu. W trakcie próby nr 35 (wykres nr 9) sprawdzono zachowanie się układu napędowego po wyłączeniu przekształtnika PT2 napędzającego silnik M2. Wyłączenie silnika M2 spowodowało, zgodnie z oczekiwaniami, wzrost amplitudy prądu w silniku M1. Zachowanie się napędu należy ocenić pozytywnie. W 37 sekundzie próby nr 35 wyłączono silnik M2, a w 52 sekundzie wyłączono z hamowaniem silnik M1. W trakcie wyłączenia nie zarejestrowano oddawania energii na rezystory.



Wykres 9. Próba nr 35, przejazd w lewo, z obciążeniem, zasilanie z dwóch przenienników częstotliwości (50Hz); a)  $I_{M1}$ , b)  $I_{M2}$ , c)  $F$

## 7. Podsumowanie oraz wnioski

Badania systemu posuwu dla kombajnów węglowych ścianowych przeprowadzono na modelu kombajnu posadowionym na rynnach przenośnika zgrzeblowego ścianowego, którego trasę o długości 40m ułożono z krzywiznami odwzorowującym układ rzeczywisty. Opory posuwu związane z urabianiem węgla zadawano kołowrotem KBH-5. Uzyskane siły stanowiły wielkość 30% rzeczywistych oporów. Przebadano zachowanie się układu napędowego dotychczas stosowanego w górnictwie i systemu z dwoma silnikami zintegrowanymi z przemiennikami częstotliwości typu SG3FB 200 S-4A. Badania przeprowadzono na modelu kombajnu pracującego na biegu luzem (praca manewrowa) w zakresie prędkości  $0 \div 2,0n_n$  oraz z obciążeniem (praca symulująca urabianie węgla) w zakresie prędkości  $0 \div 1,0n_n$ .

Analizując wyniki pomiarów aktualnie stosowanego systemu posuwu stwierdzono dużą nierównomierność obciążenia powodującą wzrost obciążenia jednego napędu przy równoczesnym obniżeniu obciążenia drugiego napędu, w każdym zakresie prędkości, zarówno na biegu jałowym jak i w czasie symulowanych obciążeń kołowrotem. Efektem tej nierównomierności jest nieefektywne wykorzystanie mocy zainstalowanej oraz praca kombajnu charakteryzująca się szarpniętami, drganiami i przeciążeniami dynamicznymi układu mechanicznego posuwu.

Analiza wyników pomiarów nowego rozwiązania posuwu z silnikami SG3FB 200 S-4A z wyrównywaniem obciążeń dała wyniki pozytywne mimo, że wyrównywanie obciążeń realizowano w sposób ręczny poprzez zwiększenie częstotliwości zadanej w silniku mniej obciążonym. Wyniki pomiarów prądów silników SG3FB 200 S-4A zarówno na biegu jałowym jak i podczas pracy z obciążeniem dla różnych prędkości posuwu, mimo braku automatycznej regulacji wyrównywania obciążenia, w znaczny sposób poprawiają własności trakcyjne napędu. Analizowano stany awaryjne jakie mogą wystąpić w rzeczywistym układzie, a mianowicie awarię jednego przemiennika częstotliwości w czasie pracy kombajnu. Analiza wyników pozwala na stwierdzenie, że samoczynne wyłączenie się jednego napędu zapewnia poprawną dalszą pracę kombajnu oraz pozwala na rozruch kombajnu z jednym napędem. Dynamiczne zmiany wartości siły symulującej opory urabia-

nia nie powodowały udarów prądów pobieranych przez silniki. Rozruch silników odbywał się płynnie, zaś wartości prądów nie przekraczały wartości znamionowych.

## Wnioski

- 1) Przeprowadzone badania stanowiskowe systemu posuwu kombajnu z dwoma silnikami zintegrowanymi z przemiennikami częstotliwości potwierdziły słuszność zakładanych efektów pracy tego systemu.
- 2) Zastosowanie systemu posuwu z silnikami zintegrowanymi z przemiennikami częstotliwości w kombajnach węglowych ścianowych zdecydowanie poprawi efektywność posuwu przez pełne wykorzystanie mocy zainstalowanej i zmniejszy udary w postaci szarpań i przeciążeń związanych z luzami na drabinkach rynien, luzami pomiędzy rynnami, nierównomiernym zużyciem samych rynien oraz brakiem prostoliniowości trasy przenośnika.
- 3) System posuwu z zastosowaniem silników zintegrowanych z przemiennikami częstotliwości, umożliwia pracę kombajnu z jednym ciągnikiem, co ma duże znaczenie w warunkach dołowych w przypadku awarii jednego z silników.
- 4) Nowy system posuwu w przypadku awarii układu automatycznego wyrównywania obciążenia w najgorszym przypadku będzie pracować jak system posuwu obecnie stosowany.

## 8. Literatura

- [1]. Budzyński Z., Kołodziej H., Przybyła J.: *Silnik indukcyjny z przemiennikiem częstotliwości w wykonaniu przeciwwybuchowym na napięcie 1000V (1140)*. KOMEL Maszyny elektryczne. Zeszyty Problemowe nr 71/2005, Katowice, 2005r.
- [2]. Sprawozdanie z badań nr 5/BT/2007 CMG KOMAG Laboratorium Badań Stosowanych, Gliwice 2007. (niepublikowane)

## Autorzy

mgr inż. Zdzisław Budzyński  
CMG KOMAG tel. 032-2374-624  
zbudzynski@komag.eu

mgr inż. Przemysław Deja  
CMG KOMAG tel. 032-2374-480  
pdeja@komag.eu