

Tomasz Wolnik, Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL, Katowice
Krystian Skupień, Jarosław Mróz, Nafra Polska Sp. z o.o., Rybnik

BADANIA TESTOWE WOLNOOBROTOWEGO SILNIKA PMSM DO BEZPRZEKŁADNIOWEGO NAPĘDU GÓRNICZEGO PRZENOŚNIKA TAŚMOWEGO

LAB-TESTS OF LOW-SPEED PMSM MOTOR FOR A GEARLESS DRIVE OF MINING CONVEYOR BELT

Streszczenie: W artykule zaprezentowano wyniki badań wolnoobrotowego silnika z magnesami trwałymi przeznaczonego do bezpośredniego napędu górniczego przenośnika taśmowego. Badania przeprowadzono na specjalnie przygotowanym stanowisku badawczym, symulującym pracę przenośnika taśmowego. Opracowane rozwiązanie cechuje się wyższą sprawnością w stosunku do klasycznych rozwiązań, ogranicza znacząco przestrzeń instalacyjną oraz zmniejsza ryzyko awaryjności poprzez eliminację elementów pośredniczących, takich jak przekładnia mechaniczna.

Abstract: The lab tests results of low-speed PMSM motor for direct drive of mining conveyor belt are presented in the article. The tests were carried out on a specially prepared test bench, simulating work of the belt conveyor. Developed solution is characterized by higher efficiency, significantly smaller space needed for drive housing and less risk of failure, cause eliminating mechanical gear.

Słowa kluczowe: *napęd przenośnika taśmowego, silniki synchroniczne z magnesami trwałymi, górnicze przenośniki taśmowe, napęd bezprzekładniowy*

Keywords: *conveyor belt drive, permanent magnet synchronous motors, mining conveyor belts, gear-less drive system*

1. Wstęp

Napędy górniczych przenośników zbudowane z silnika indukcyjnego, przekładni mechanicznej, sprzęgła oraz bębna napędowego są rozwiązaniami powszechnie stosowanymi, które jednak cechuje kilka istotnych wad [1,2,3,4]. Dość częstym awariom ulegają przekładnie mechaniczne, współczynnik sprawności w rzeczywistych warunkach pracy napędu jest stosunkowo niski, a montaż układu napędowego ma miejsce poza głównym obrysem przenośnika, co wymaga zwiększonego przekroju wyrobisk [3,4]. Rozwiązaniem eliminującym powyższe wady jest bezprzekładniowy napęd wykorzystujący wolnoobrotowy silnik PMSM o regulowanej prędkości obrotowej, zabudowany wewnątrz bębna napędowego. Rozwiązanie takie opracowane zostało przez Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL oraz firmę NAFRA POLSKA w ramach wspólnie realizowanego projektu POIG.01.03.01-24-075/12.

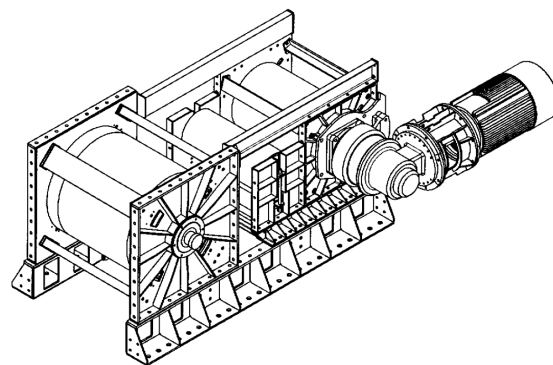
W niniejszym artykule zaprezentowano wyniki badań testowych prototypowego, wolnoobrotowego silnika PMSM o mocy 250 kW zabudowanego w bębnie napędowym na specjalnie przygotowanym stanowisku badawczym, sy-

mulującym pracę przenośnika taśmowego. Przedstawiono charakterystyki obciążenia silnika dla różnych wartości prędkości obrotowych przekładających się na prędkość liniową taśmy przenośnikowej.

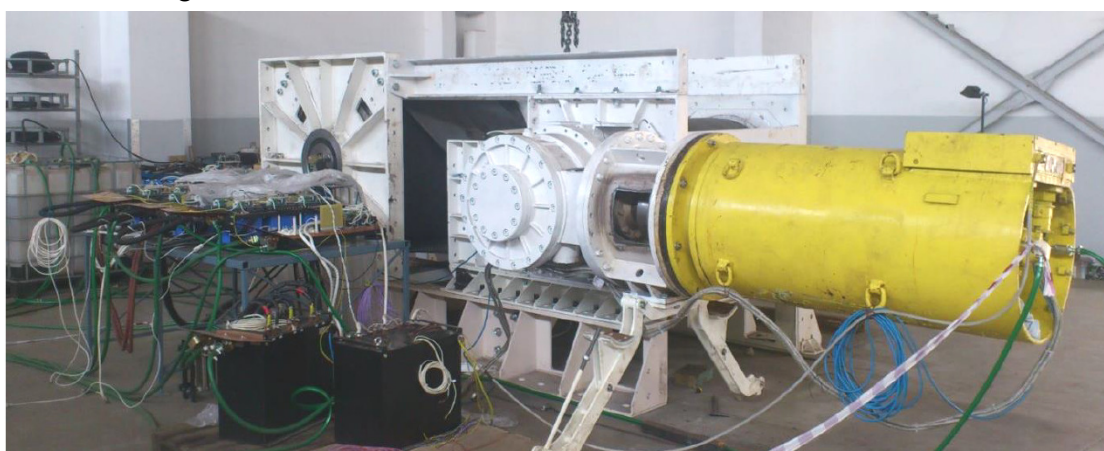
2. Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze zostało opracowane tak, aby odwzorować pracę rzeczywistego przenośnika taśmowego. W związku z powyższym, wolnoobrotowy silnik PMSM zintegrowany z gumowanym bębniem napędowym umieszczony został w korpusie przenośnika. Do obciążenia silnika wykorzystano krótki odcinek taśmy przenośnikowej czteroprzekładniowej oraz klasyczny układ napędowy złożony z silnika indukcyjnego o mocy 250 kW, sprzęgła, przekładni KPL 25 i stacji zwrotnej z bębniem o średnicy 800 mm. Model stanowiska przedstawiono na rysunku 1, natomiast na rysunku 2 przedstawiono fotografię rzeczywistego stanowiska badawczego. Do zasilania napędu wykorzystano opracowany w ramach projektu przemiennik częstotliwości współpracujący z siecią o napięciu znamionowym 1000 V. W przekształtniku

wykorzystano tranzystory IGBT Hitachi MBN800E33D o maksymalnym napięciu blokowania 3,3 kV i prądzie 800 A. System sterowania silnika PMSM został oparty na znanym układzie polowo-zorientowanym z optymalizacją stosunku momentu do prądu silnika. W układzie zastosowano 13-bitowy enkoder absolutny firmy Kubler o komunikacji szeregowej w standardzie SSI [4]. W ten sposób ograniczono liczbę połączeń między enkoderem, a układem sterowania, co jest istotne, ze względu na planowane zapewnienie barier iskrobezpiecznych. Układ obciążenia również zasilany był poprzez przemiennik częstotliwości, który umożliwiał zwrot energii do sieci.



Rys. 1. Model stanowiska badawczego silnika PMSM do bezprzekładniowego napędu górniczego przenośnika taśmowego



Rys. 2. Stanowisko badawcze wolnoobrotowego silnika PMSM do bezprzekładniowego napędu górniczego przenośnika taśmowego

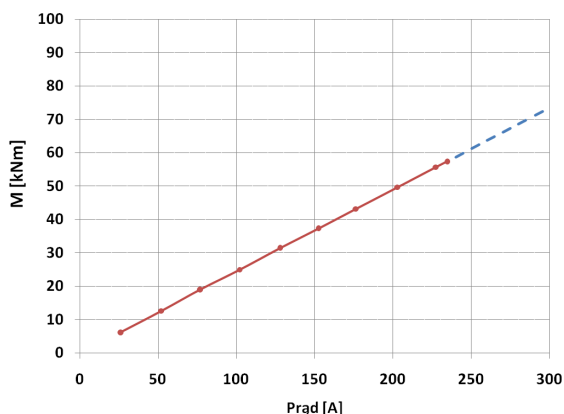
3. Wyniki badań

Prototypowy, wolnoobrotowy silnik PMSM o regulowanej prędkości obrotowej cechuje się następującymi parametrami znamionowymi:

$$\begin{aligned} P_N &= 250 \text{ kW} \\ U_N &= 1000 \text{ V (AC)} \\ I_N &= 220 \text{ A} \\ n_N &= 45 \text{ obr/min} \\ f_N &= 11.25 \text{ Hz} \\ M_N &= 53 \text{ kNm} \\ M_{max} &= 115 \text{ kNm} \\ \eta_N &= 92\% \end{aligned}$$

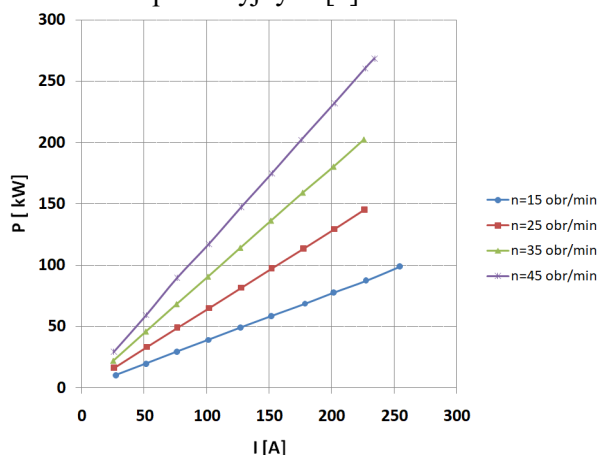
Konstrukcja silnika PMSM była optymalizowana pod kątem minimalizacji momentu zaczepowego. Przed zabudową układu obciążenia na stanowisku badawczym, dokonano pomiaru momentu zaczepowego silnika, który wynosił ok. 250 Nm, co stanowi 0,5% momentu znamionowego. Wynik należy uznać za bardzo dobry, szczególnie biorąc pod uwagę, że opracowany silnik jest maszyną wielobiegunową

($2p=30$). Dla omawianego silnika przeprowadzono próbę nagrzewania dla znamionowych parametrów zasilania i obciążenia maszyny. Wydatek medium chłodzącego wynosił 12 l/min. W uzwojeniu stojana umieszczono 9 czujników pomiarowych Pt100, z czego 3 w czołach od strony D, 3 w czołach od strony DN oraz 3 w środkowych częściach żłobków. Czujniki zostały rozłożone symetrycznie na obwodzie twornika. Najwyższy przyrost temperatury ok. 60 K odnotowano w czołach stojana strony D, czyli od strony wylotu czynnika chłodzącego. Różnica temperatury na wlocie i wylocie czynnika chłodzącego zarejestrowana na koniec próby nagrzewania wynosiła 22,5 K. Temperatura łożysk nie przekraczała 35°C. Na rysunku 3 przedstawiono zmierzoną charakterystykę momentu mechanicznego silnika w funkcji wartości RMS prądu fazowego. Charakterystyka jest identyczna dla całego zakresu prędkości obrotowych (0-55 obr/min).

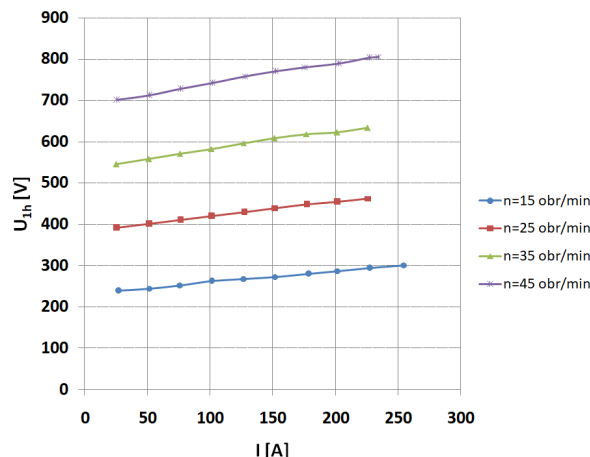


Rys. 3. Charakterystyka momentu mechanicznego silnika w funkcji prądu obciążenia silnika

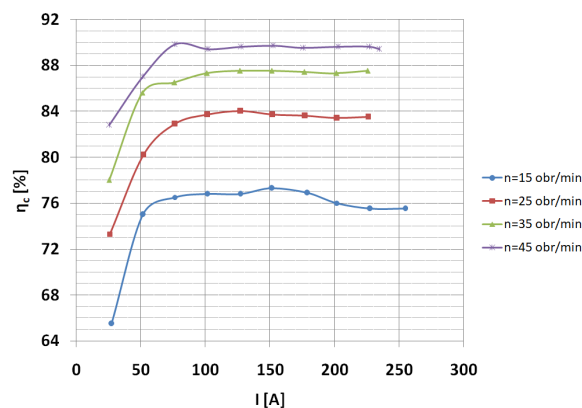
Na podstawie dokonanych pomiarów charakterystyk obciążenia wyznaczono charakterystyki eksploatacyjne silnika. Na rysunkach 4-6 przedstawiono charakterystyki mocy mechanicznej, napięcia zasilania oraz sprawności układu napędowego w funkcji prądu fazowego dla wybranych wartości prędkości obrotowych. Otrzymane charakterystyki były zbieżne z charakterystykami obliczeniowymi silnika. Współczynnik sprawności napędu bezprzekładniowego w zakresie obciążenia do 0.5 momentu znamionowego (co odpowiada prądowi fazowemu 110A) i prędkości obrotowej 45 obr/min (co przekłada się na prędkość taśmy ok. 3.2 m/s) jest o ok. 8-10% wyższy w stosunku to analogicznego rozwiązania układu napędowego z silnikiem indukcyjnym i przekładnią mechaniczną. W skali całego „cyklu życia” przenośnika pozwala to na znaczne ograniczenie kosztów eksploatacyjnych [4].



Rys. 4. Charakterystyka mocy mechanicznej silnika w funkcji prądu fazowego dla wybranych wartości prędkości obrotowych

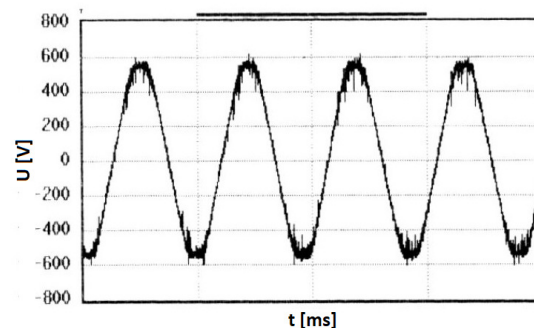


Rys. 5. Charakterystyka pierwszej harmonicznej napięcia międzyfazowego silnika w funkcji prądu fazowego dla wybranych wartości prędkości obrotowych.



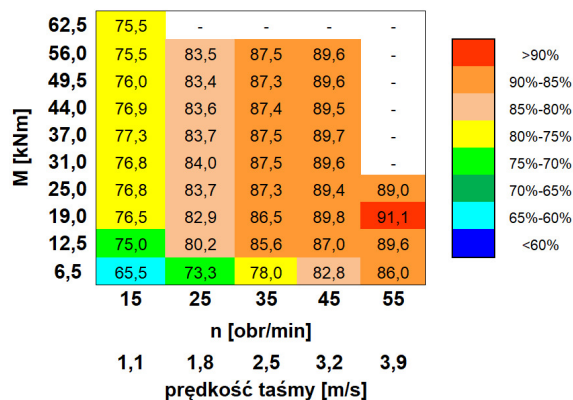
Rys. 6. Charakterystyka sprawności napędu (łącznie z falownikiem) w funkcji prądu fazowego dla wybranych wartości prędkości obrotowych

Dla biegu jałowego silnika przy pracy generatorowej dokonano również rejestracji przebiegu czasowego indukowanego napięcia fazowego. Przebieg zaprezentowano na rysunku 7.



Rys. 7. Przebieg czasowy indukowanego napięcia fazowego silnika dla prędkości obrotowej 45 obr/min.

Na rysunku 8 przedstawiono opracowaną mapę sprawności prototypowego silnika. Na osi poziomej oprócz prędkości obrotowej silnika zaznaczono również odpowiadającą jej prędkość liniową taśmy przenośnika.



Rys. 8. Mapa sprawności bezprzekładniowego układu napędowego (łącznie z falownikiem) z wolnoobrotowym silnikiem PMSM o regulowanej prędkości obrotowej

4. Podsumowanie

W publikacji przedstawiono wyniki badań prototypowego silnika PMSM do bezprzekładniowego napędu górniczego przenośnika taśmowego. Charakterystyki eksploatacyjne silnika są zbieżne z charakterystykami wyznaczonymi na etapie projektowania silnika. Przedstawiony innowacyjny napęd przenośnika taśmowego pozwala na eliminację z układu napędowego przekładni mechanicznej oraz jest montowany wewnątrz bębna napędowego, co znacząco ogranicza przestrzeń instalacyjną. Prototypowy napęd bezprzekładniowy opracowany został przez Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL oraz firmę NAFRA POLSKA w ramach projektu POIG.01.03.01-24-075/12.

5. Literatura

- [1]. Antoniak J.: *Przenośniki taśmowe w górnictwie podziemnym i odkrywkowym energooszczędne*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010.
- [2]. Karolewski B., Pieńkowski K.: *Elektryczne układy napędowe przenośników taśmowych w górnictwie odkrywkowym*, Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej, Nr 58/2005.
- [3]. Wolnik T.: *Bezprzekładniowy napęd elektryczny górniczego przenośnika taśmowego*, Przegląd Górniczy 7/2016, str. 63-68.
- [4]. Wolnik T.: *Wolnoobrotowy silnik synchroniczny z magnesami trwałymi jako bezprzekładniowy napęd górniczego przenośnika taśmowego*, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe 1/2018 (117).

Artykuł opublikowany w ramach projektu badawczo - rozwojowego nr POIG.01.03.01-24-075/12 "Bezprzekładniowy i wysokosprawny napęd elektryczny górniczego przenośnika taśmowego."