

**Andrzej Dzikowski**  
Instytut Technik Innowacyjnych EMAG, Katowice

## ZASTOSOWANIE SILNIKA Z MAGNESAMI TRWAŁYMI DO NAPĘDU CIĄNIENIA GÓRNICZEGO KOMBAJNU ŚCIANOWEGO

### APPLICATION OF PERMANENT MAGNET MOTOR TO DRIVE LONGWALL SHEARER MINING PULLING

**Abstract:** The paper presents results of a computer simulation from the applications of a synchronous motor with permanent magnets to drive of a mining longwall shearer pulling. The results were compared with currently used to drive pulling systems the squirrel-cage asynchronous motor supplied by frequency converter. The loads occurring in the systems of mining shearer pulling is characterized by high dynamics and variability. The results of a dynamics parameters, economics and especially thermal propulsion using a permanent magnet synchronous motor used in place of the squirrel-cage asynchronous motor commonly speak for use this type of motors on drives of a mining longwall shearer pulling.

#### 1. Wstęp

W polskich kopalniach węgla kamiennego wydobycie odbywa się metodą ścianową za pomocą zmechanizowanych kompleksów ścianowych, w skład których wchodzi maszyna urabiająca zwana kombajnem ścianowym. Dynamika procesu urabiania ściany za pomocą kombajnu jest bardzo wysoka. W ostatnich latach, ze względu na wzrost wydajności kompleksów ścianowych, znacząco wzrosła moc silników zainstalowanych w kombajnie. Dotyczy to zarówno mocy silnika organu urabiającego, jak i mocy silnika posuwu kombajnu. Moce silników organów urabiających osiągają już 1000 kW, a kombajn jest wyposażony zwykle w dwa organy urabiające. Prędkości posuwu organów urabiających osiągają wartość 35 m/min., a siły uciągu 500 kN. Takie parametry techniczne kombajnu pozwalają uzyskać wydajność urabiania ściany węgla na poziomie 15 tys. ton/dobę [1,2].

Taka duża wydajność urabiania przez kombajn uzyskiwana jest poprzez zastosowanie układów ciągnięcia zapewniających wysoką prędkość przemieszczania organów urabiających wzdłuż ściany węgla oraz stosowanie dużych sił ciągnięcia. Układy ciągnięcia zapewniają bezstopniową regulację prędkości posuwu organów urabiających, która jest realizowana za pomocą napędów hydraulicznych bądź elektrycznych. Obecnie coraz częściej są stosowane napędy elektryczne, w których regulacja prędkości jest wykonywana za pomocą silników asynchronicznych klatkowych zasilanych z przemienników częstotliwości [1,2,3].

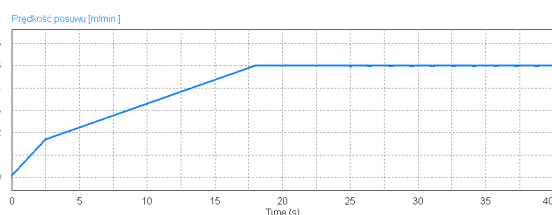
Mechanizm posuwu kombajnu zapewnia przeniesienie siły uciągu, z koła napędowego ciągnika lub kół napędowych dwóch ciągników, na elementy trasy jezdnej mocowane wzdłuż całej ściany do zastawek przenośnika zgrzeblowego. Kombajny ścianowe w polskim górnictwie węglowym są wyposażone w mechanizmy posuwu typu POLTRAK z jednym kołem napędowym lub dwoma kołami napędowymi, typu EICOTRACK z dwoma kołami napędowymi oraz typu DYNATRAC z dwoma kołami napędowymi [1].

#### 2. Modelowanie obciążeń dynamicznych występujących w rzeczywistych układach ciągnięcia kombajnów ścianowych

Występujące w układach ciągnięcia kombajnów ścianowych obciążenia dynamiczne mają bardzo złożony charakter wynikający z prowadzonego procesu urabiania ściany węglowej. Na skutek kontaktu noży organów urabiających z calizną węglową na mechanizm ciągnięcia przenoszą się drgania szybkozmiennie o częstotliwości zależnej od prędkości urabiania. Dodatkowo w zależności od stosowanego mechanizmu ciągnięcia występuje modulacja momentu obciążenia wału silnika napędowego układu ciągnięcia zależna od prędkości posuwu. W ramach niniejszego artykułu zamodelowano modulacje momentu występujące w bezciągnowym elektrycznym mechanizmie posuwu kombajnu ścianowego z mechanizmem ciągnięcia EICOTRACK 2BP. Ten typ mechanizmu posuwu w kombajnie ścianowym typu

KSW-750E charakteryzuje się przeniesieniem momentu silnika napędowego poprzez przekładnię mechaniczną na koło napędowe o zarysie ewolwentowym i liczbie zębów  $z = 12$  współdziałające z zębatką sworzniową mechanizmu posuwu 2BP, w której nominalna podziałka sworzniowa wynosi 125 mm. Koło napędowe zazębia się z przekładkami sworzniowymi zamontowanymi do obudowy przenośnika zgrzeblowego, wywołując siłę pociągową przemieszczającą kombajn ściany wzdłuż urabianej ściany. Przemiennik częstotliwości zasilający silniki napędowe ciągników zapewnia płynną regulację prędkości posuwu kombajnu w zakresie od 0 do 21,5 m/min. [1].

Ze względu na dostępność danych pomiarowych kombajnu ścianowego typu KSW-750E zaczerpniętych z [1] zdecydowano przeprowadzić symulacje komputerowe dla warunków obciążenia występujących w czasie urabiania pionowej ściany węglowej o długości 250 m usytuowanej poziomo, czyli bez nachylenia podłużnego i poprzecznego. Symulacje zostały wykonane dla przypadku, w którym kombajn ściany po osiągnięciu założonej prędkości posuwu, urabia czoło wyrobiska ścianowego organami urabiającymi ze stałą prędkością posuwu. Symulacje komputerowe prowadzono z użyciem symulatora układów energoelektronicznych PSIM v.7.1 firmy PowerSim Inc. [4]. Na rys.1 został przedstawiony zasymulowany przebieg prędkości posuwu kombajnu ścianowego w czasie rozpoczynania pracy kombajnu.

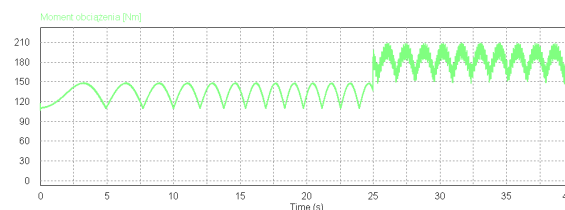


Rys. 1. Profil prędkości posuwu kombajnu

Przebieg prędkości posuwu kombajnu przedstawiony na rys.1 jest zgodny z przebiegiem pomiarowym zamieszczonym w [1] i można wyróżnić w nim dwie fazy. W pierwszej trwającej 18 sekund następuje rozruch kombajnu ścianowego, prędkość posuwu narasta od zera do wartości zadanej w tym przypadku równej 5 m/min. Wzrost prędkości posuwu kombajnu spowodowany jest narastaniem częstotliwości napięcia zasilania silników w napędzie ciągników. Przy czym można wyróżnić w tej fazie dwie wartości przyśpieszenia. W przedziale czasowym 0 do 2,5 s prędkość posuwu narasta

od 0 do wartości 1,7 m/min. Natomiast w przedziale czasowym od 2,5 s do 18 s prędkość posuwu narasta do wartości zadanej, w tym przypadku równej 5 m/min. W drugiej fazie, począwszy od 18 sekundy kombajn ściany porusza się ze stałą zadaną prędkością posuwu i w 25 sekundzie następuje rozpoczęcie urabiania ściany.

Na rys.2 został przedstawiony zasymulowany przebieg dynamicznego obciążenia momentem silnika w napędzie ciągnika kombajnu w czasie rozpoczynania pracy kombajnu z przebiegiem prędkości przedstawionym na rys.1.



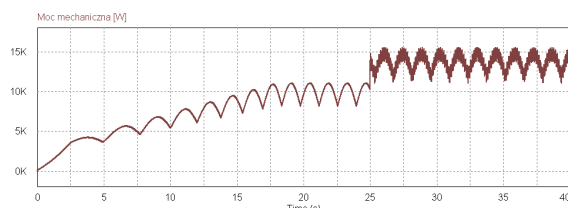
Rys. 2. Przebieg momentu obciążenia silnika napędu ciągnienia kombajnu

Przedstawiony na rys.2 przebieg momentu obciążenia silnika w układzie ciągnienia kombajnu ścianowego jest zgodny z przebiegiem pomiarowym zamieszczonym w [1] i cechuje się wyraźnie periodycznym charakterem wywołanym współdziałaniem zębów kół napędowych ze sworzniami zębatki. W charakterystyce momentu obciążenia widoczne są wyraźne oscylacje o okresie zazębiania zębów kół napędowych ze sworzniami zębatki. W fazie rozruchu kombajnu ścianowego okres zazębiania jest zmienny i w miarę zwiększania prędkości posuwu kombajnu okres ten maleje. W ruchu ustalonym okres zazębiania zębów kół napędowych ze sworzniami zębatki jest stały i wynosi dla zadanej wartości prędkości posuwu 1,4 sekundy. Pomimo, iż w fazie rozruchu prędkość posuwu kombajnu rośnie, obciążenie dynamiczne silników w napędzie jego ciągników jest co do wartości średniej w przybliżeniu stałe. Moment dynamiczny na wale silnika rozpatrywanego ciągnika oscyluje przy tym w granicach od 110 Nm do 148 Nm. Wartość średnia tego obciążenia kształtuje się przy tym na poziomie 133,6 Nm. Ponieważ w tym czasie, do 25 sekundy nie była urabiana ściana można więc przyjąć, że jest to ruch manewrowy kombajnu ścianowego.

W momencie rozpoczęcia urabiania ściany, od 25 sekundy obciążenia dynamiczne wzrastają i mają postać drgań szybkozmiennych, których źródłem jest proces urabiania calizny węglowej

organami urabiającymi. Wartość szczytowa obciążenia dynamicznego silnika ciągnika wynosi teraz 208 Nm. Amplituda tego obciążenia, rozumiana jako zakres jego zmienności wynosi 58 Nm. Wartość średnia tego obciążenia kształtuje się na poziomie 183,9 Nm i jest większa od występującej w ruchu manewrowym o 38%.

Na rys.3 został przedstawiony przebieg mocy mechanicznej obciążającej silnik rozpatrywanego ciągnika kombajnu ścianowego w czasie rozpoczynania pracy kombajnu z przebiegiem prędkości przedstawionym na rys.1 oraz obciążeniem dynamicznym przedstawionym na rys.2.



Rys. 3. Moc mechaniczna silnika napędu ciągnięcia

W przebiegu mocy mechanicznej przedstawionej na rys.3 występują także oscylacje o okresie ząbkowania zębów koła napędowego ze sworzniami segmentów zębatego. W fazie rozruchu, gdy kombajn przyspiesza do zadanej prędkości 5 m/min. moc mechaniczna silnika w napędzie ciągnika wzrasta. Po osiągnięciu ustalonej prędkości w ruchu manewrowym moc mechaniczna rozpatrywanego ciągnika osiąga średnią wartość wynoszącą 10,05 kW. Wartość szczytowa mocy wynosi w tym przypadku 11,08 kW, amplituda zaś wynosi 2,84 kW.

W momencie rozpoczęcia urabiania ściany następuje wzrost mocy mechanicznej obciążającej silnik w napędzie rozpatrywanego ciągnika do wartości średniej wynoszącej 13,76 kW. Wartość szczytowa mocy osiąga poziom 15,56 kW, zaś amplituda 4,47 kW.

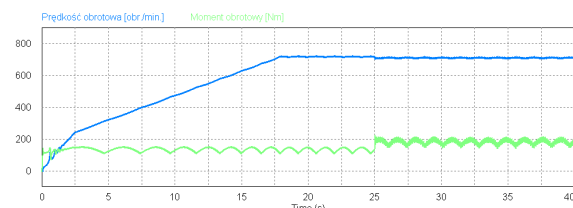
### 3. Symulacja układu napędowego ciągnika kombajnu ścianowego z silnikiem asynchronicznym klatkowym

Kombajn KSW-750E o masie 42 ton jest wyposażony w 2 organy urabiające napędzane silnikami o mocy 300 kW, przemieszczane wzdłuż ściany za pomocą dwóch ciągników elektrycznych napędzanych silnikami asynchronicznymi klatkowymi typu 2SG6 200S-4Af o mocy 60 kW każdy i prądzie znamionowym 44 A przy napięciu zasilania 1000 V i częstotliwości

50 Hz. Moment znamionowy tych silników wynosi 394 Nm, znamionowa prędkość obrotowa 1455 obr./min. Znamionowy współczynnik mocy wynosi 0,87, a sprawność znamionowa 0,91. Masa silnika wynosi 410 kg [5].

Dla powyższych danych przeprowadzono symulację urabiania ściany węglowej o długości 250 m przy warunkach profilu prędkości przedstawionych na rys. 1, czyli przy prędkości urabiania 5 m/min., co przy długości ściany 250 m daje czas urabiania ściany równy 50 min.

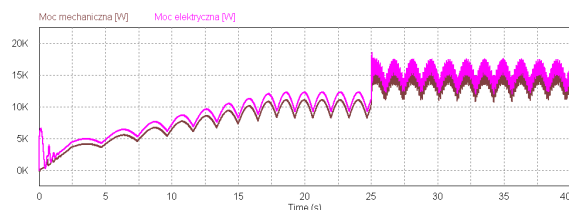
Na rys.4 zostały przedstawione przebiegi prędkości obrotowej i momentu elektromagnetycznego wytwarzanego przez silnik ciągnika w czasie rozpoczynania pracy kombajnu.



Rys. 4. Przebieg prędkości obrotowej i momentu elektromagnetycznego wytwarzanego przez silnik

W przedstawionym na rys.4 przebiegu prędkości obrotowej wału silnika w czasie 2,5 sekundy od włączenia prędkość obrotowa wału silnika osiąga wartość 242 obr./min. W 18 sekundzie prędkość obrotowa ustala się i w przedziale czasowym pomiędzy 18 a 25 sekundą średnia wartość prędkości obrotowej wału silnika wynosi 719 obr./min. Jest to jeszcze ruch manewrowy. Od 25 sekundy następuje rozpoczęcie urabiania ściany i w tym czasie na skutek zwiększonego momentu obciążenia zwiększa się poślizg silnika zasilanego ze stałą częstotliwością i prędkość obrotowa spada. W przedziale czasowym pomiędzy 25 a 40 sekundą średnia wartość prędkości obrotowej wału silnika wynosi 713 obr./min. W przedstawionym na rys.4 przebiegu momentu elektromagnetycznego można wyróżnić dwa charakterystyczne przedziały. Do 25 sekundy, czyli w ruchu manewrowym średnia wartość momentu wynosi 134 Nm. Podczas urabiania ściany, czyli w przedziale czasowym pomiędzy 25 a 40 sekundą średnia wartość momentu wynosi 184 Nm.

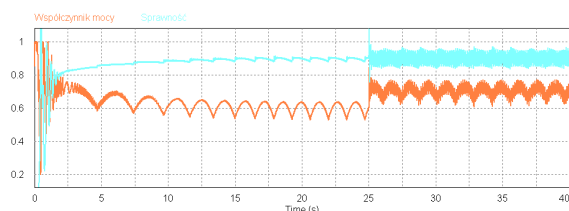
Na rys.5 został przedstawiony przebieg oddawanej mocy mechanicznej i pobieranej mocy elektrycznej przez silnik napędu posuwu w czasie rozpoczynania pracy przez kombajn ścianowy.



Rys. 5. Przebieg mocy mechanicznej oddawanej i mocy elektrycznej pobieranej przez silnik

W przedstawionych na rys.5 przebiegach mocy w przedziale czasowym pomiędzy 18 a 25 sekundą, czyli podczas ruchu manewrowego z ustaloną prędkością średnia wartość mocy mechanicznej oddawanej przez silnik wynosi 10,09 kW, a mocy elektrycznej pobieranej 11,24 kW. W przedziale czasowym pomiędzy 25 a 40 sekundą, czyli podczas urabiania ściany z ustaloną prędkością średnia wartość mocy mechanicznej oddawanej przez silnik wynosi 13,75 kW, a mocy elektrycznej pobieranej 15,25 kW.

Na rys.6 zostały przedstawione przebiegi współczynnika mocy i sprawności silnika napędu posuwu w tym czasie.



Rys. 6. Przebieg współczynnika mocy i sprawności silnika

W przedstawionych na rys.6 przebiegach w przedziale czasowym pomiędzy 18 a 25 sekundą, czyli podczas ruchu manewrowego z ustaloną prędkością średnia wartość współczynnika mocy wynosi 0,602, a średnia wartość sprawności wynosi 0,898. W przedziale czasowym pomiędzy 25 a 40 sekundą, czyli podczas urabiania ściany z ustaloną prędkością średnia wartość współczynnika mocy wynosi 0,706, a średnia wartość sprawności wynosi 0,902.

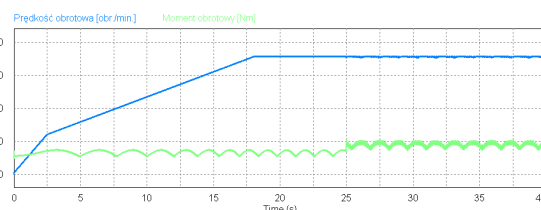
#### 4. Symulacja układu napędowego ciągnika kombajnu z silnikiem synchronicznym z magnesami trwałymi

Zastosowanie silników synchronicznych z magnesami trwałymi charakteryzującymi się większą przeciążalnością momentem od silników asynchronicznych klatkowych powinno polepszyć charakterystykę napędu ciągników kombajnów, w których to układach mamy do czynienia z dużą dynamiką występujących

momentów obciążenia. Dodatkowo zastosowanie silników synchronicznych z magnesami trwałymi posiadającymi wyższą sprawność w stosunku do silników asynchronicznych klatkowych, powinno przynieść oszczędności ekonomiczne [6,7]. Odpowiedzi na te pytania pozwalają dać symulacje napędu ciągnięcia kombajnu wyposażonego w tego typu silniki. Do symulacji zastosowano silniki typu LSRPM 200L1 o mocy znamionowej 65kW, momencie znamionowym 207 Nm, prędkości znamionowej 3000 obr./min. i sprawności znamionowej 96% oraz masie 153 kg [8]. Układ napędowy kombajnu ścianowego, w tym przełożenie przekładni pozostały bez zmian.

Przeprowadzono symulację urabiania ściany węglowej o tej samej długości 250 m przy warunkach profilu prędkości przedstawionych na rys. 1, czyli przy prędkości urabiania 5 m/min., co przy długości ściany 250 m daje czas urabiania ściany równy 50 min. Silnik napędowy jest zasilany z przemiennika częstotliwości, w którym falownik wyjściowy steruje silnikiem wykorzystując wektorowy algorytm sterowania z nadrzędną regulacją prędkości [9,10]. Prędkość obrotowa silnika narasta do 18 sekundy zgodnie z profilem prędkości posuwu kombajnu przedstawionym na rys.1. Od 18 sekundy prędkość obrotowa silnika nie zmienia się i jest stała pomimo rozpoczęcia w 25 sekundzie urabiania ściany. Następnie przez 50 minut występuje praca ze stałą prędkością.

Na rys.7 zostały przedstawione przebiegi prędkości obrotowej i momentu elektromagnetycznego wytwarzanego przez silnik w czasie rozpoczynania pracy kombajnu.

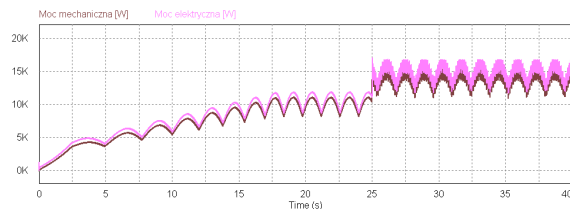


Rys. 7. Przebieg prędkości obrotowej i momentu elektromagnetycznego wytwarzanego przez silnik

W przedstawionym na rys.7 przebiegu prędkości obrotowej wału silnika w czasie 2,5 sekundy od włączenia prędkość obrotowa wału silnika osiąga wartość 243 obr./min. W 18 sekundzie prędkość obrotowa ustala się i w przedziale czasowym pomiędzy 18 a 25 sekundą wartość prędkości obrotowej wału silnika wynosi 713 obr./min. Jest to jeszcze ruch manewrowy.

Od 25 sekundy następuje rozpoczęcie urabiania ściany i w tym czasie pomimo zwiększonego momentu obciążenia prędkość obrotowa wału silnika nie zmienia się, ponieważ wirnik silnika wiruje z prędkością synchroniczną do częstotliwości zasilania silnika. Zwiększa się tylko kąt opóźnienia wektora strumienia magnetycznego wytwarzanego przez magnesy trwale umieszczone w wirniku w stosunku do wektora pola elektromagnetycznego wytwarzanego przez stojan. W przedziale czasowym pomiędzy 25 a 40 sekundą średnia wartość prędkości obrotowej wału silnika wynosi zatem również 713 obr./min. W przedstawionym na rys.7 przebiegu momentu elektromagnetycznego można wyróżnić dwa charakterystyczne przedziały. Do 25 sekundy, czyli w ruchu manewrowym średnia wartość momentu wynosi 134 Nm. Podczas urabiania ściany, czyli w przedziale czasowym pomiędzy 25 a 40 sekundą średnia wartość momentu wynosi 184 Nm.

Na rys.8 zostały przedstawione przebiegi oddawanej mocy mechanicznej i pobieranej mocy elektrycznej przez silnik napędu posuwu w czasie rozpoczynania pracy przez kombajn ścianowy.

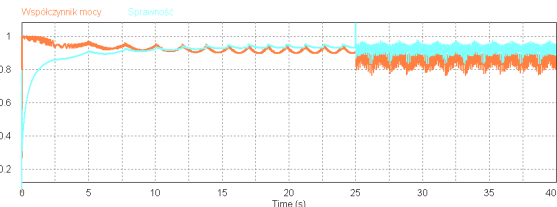


Rys. 8. Przebieg mocy mechanicznej oddawanej i mocy elektrycznej pobieranej przez silnik

W przedstawionych na rys.8 przebiegach mocy w przedziale czasowym pomiędzy 18 a 25 sekundą, czyli podczas ruchu manewrowego z ustaloną prędkością średnia wartość mocy mechanicznej oddawanej przez silnik wynosi 10,02 kW, a mocy elektrycznej pobieranej

10,7 kW. W przedziale czasowym pomiędzy 25 a 40 sekundą, czyli podczas urabiania ściany z ustaloną prędkością średnia wartość mocy mechanicznej oddawanej przez silnik wynosi 13,72 kW, a mocy elektrycznej pobieranej 14,87 kW.

Na rys.9 zostały przedstawione przebiegi współczynnika mocy i sprawności silnika napędu posuwu w tym czasie.



Rys. 9. Przebieg współczynnika mocy i sprawności silnika

W przedstawionych na rys.9 przebiegach w przedziale czasowym pomiędzy 18 a 25 sekundą, czyli podczas ruchu manewrowego z ustaloną prędkością średnia wartość współczynnika mocy wynosi 0,915, a średnia wartość sprawności wynosi 0,937. W przedziale czasowym pomiędzy 25 a 40 sekundą, czyli podczas urabiania ściany z ustaloną prędkością średnia wartość współczynnika mocy wynosi 0,859, a średnia wartość sprawności wynosi 0,923.

## 5. Analiza ekonomiczna napędów ciągnika kombajnu z silnikiem klatkowym oraz z silnikiem z magnesami trwałymi

W celu przeprowadzenia analizy ekonomicznej napędu ciągnika kombajnu wyposażonego w silnik asynchroniczny klatkowy oraz w silnik synchroniczny z magnesami trwałymi w tabeli 1 zostały przedstawione niektóre parametry mające wpływ na efektywność ekonomiczną napędu uzyskane na drodze symulacji komputerowej dla 3 różnych prędkości urabiania ściany węglowej.

Tabela 1. Wybrane parametry mające wpływ na ekonomikę porównywanych napędów

Typ silnika napędowego Parametry pracy kombajnu Parametry	Silnik asynchroniczny klatkowy			Silnik synchroniczny z magnesami trwałymi		
	Urabianie ściany o długości 250 m z prędkością					
	5 m/min.	10 m/min.	20 m/min.	5 m/min.	10 m/min.	20 m/min.
Moc elektryczna pobierana z sieci	15,25 kW	30,35 kW	60,27 kW	14,87 kW	29,24 kW	57,97 kW
Współczynnik mocy	0,706	0,706	0,87	0,859	0,854	0,966
Sprawność	0,902	0,911	0,912	0,923	0,943	0,952
Zużyta energia elektryczna na urabianie ściany	12,71 kWh	12,65 kWh	12,56 kWh	12,39 kWh	12,18 kWh	12,08 kWh
Moc cieplna wydzielana w silniku	1,5 kW	2,88 kW	<b>5,29 kW</b>	1,15 kW	1,72 kW	<b>2,96 kW</b>

Na podstawie symulacji komputerowych napędu ciągnika kombajnu wykonanego w sposób klasyczny z silnikiem asynchronicznym klatkowym zasilanym poprzez przemiennik częstotliwości ze skalarnym falownikiem napięcia oraz wykorzystującym nowoczesny silnik synchroniczny z magnesami trwałymi zasilany za pomocą przemiennika częstotliwości z wektorowym falownikiem napięcia należy stwierdzić, że zastosowanie nowoczesnego silnika z magnesami trwałymi przynosi efekty ekonomiczne. Moc elektryczna pobierana z sieci zasilającej jest mniejsza średnio o 3,5%. Współczynnik mocy jest wyższy średnio o 17%. Sprawność układu napędowego jest wyższa średnio o 3,5%. Zużyta energia elektryczna podczas procesu urabiania ściany węglowej jest niższa średnio o 3,5%.

Najbardziej jednak dzięki zastosowaniu wysokosprawnego silnika spada moc cieplna wydzielana w silniku, którą trzeba odprowadzić za pomocą układu chłodzenia. Wartość mocy cieplnej wydzielanej w silniku napędowym jest niższa o 44%. Daje to bardzo duże korzyści ekonomiczne przede wszystkim w postaci zmniejszenia układu chłodzenia silnika, a tym samym możliwości zastosowania znacznie tańszych układów chłodzenia o mniejszych gabarytach.

## 6. Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych symulacji komputerowych i analiz ekonomicznych można stwierdzić, że zastosowanie nowoczesnych silników synchronicznych z magnesami trwałymi zasilanych poprzez przemienniki częstotliwości wyposażone w wektorowe falowniki napięcia w miejsce obecnie powszechnie stosowanych silników asynchronicznych klatkowych zasilanych poprzez przemienniki częstotliwości wyposażone w skalarny falownik napięcia jest zasadne ekonomicznie oraz przynosi wyraźną poprawę parametrów dynamicznych układów napędowych ciągników kombajnów. Największe korzyści ekonomiczne z zastosowania nowoczesnego, wysokosprawnego silnika z magnesami trwałymi przynosi znaczne zmniejszenie ilości ciepła wydzielanego podczas pracy kombajnu w silniku napędowym. Dzięki temu układ chłodzenia odprowadza

o 44% mniej ciepła, z którego odprowadzeniem zawsze jest duży problem. Moc znamionowa układu chłodzenia może być zatem zmniejszona o prawie połowę, co prowadzi do znacznego zmniejszenia gabarytów układu chłodzenia i jego kosztu.

## Literatura

- [1]. Sikora W., Dolipski M., Cheluszka P., Giza T., Mann R., Osadnik J., Remiorz E., Sobota P.: „Obciążenia dynamiczne w układach ciągnięcia wysokowydajnych kombajnów ścianowych”, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005.
- [2]. Katalogi producenta kombajnów ścianowych firmy KOPEX: <http://www.kopex.com.pl/idm,921,kombajny-scianowe.html>.
- [3]. Dolipski M., Cheluszka P.: „Dynamika układu urabiania kombajnu chodnikowego”, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
- [4]. Symulator układów energoelektronicznych PSIM v.7.1: <http://www.powersimtech.com/download.html>
- [5]. Katalogi producenta silników elektrycznych do zastosowań górniczych firmy DAMEL S.A.: <http://www.damel.com.pl/pages/index.php>
- [6]. Rossa R.: „Przegląd silników elektrycznych z magnesami trwałymi”, Biuletyn Portalu Efektywności Energetycznej w Napędach Elektrycznych PEMP, nr 1/10 Czerwiec 2010, str. 2-8.
- [7]. Król E.: „Porównanie efektywności energetycznej silników z magnesami trwałymi i silników indukcyjnych”, Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne nr 78/2007, str. 75-78.
- [8]. Katalog producenta silników z magnesami trwałymi firmy Leroy Somer: „LSRPM-PLSRPM Synchronous motors with permanent magnets – 0,75 to 400 kW – Technical catalogue”.
- [9]. Rossa R., Król E.: „Dwustrefowa regulacja prędkości obrotowej w nowoczesnych napędach elektrycznych opartych na silnikach synchronicznych z magnesami trwałymi”, Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne nr 81/2009, str. 125-129.
- [10]. Strony internetowe Branżowego Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Maszyn Elektrycznych KOMEL: [http://www.komel.katowice.pl/pm\\_maszyny.html](http://www.komel.katowice.pl/pm_maszyny.html)

## Autor

dr inż. Andrzej Dzikowski  
[a.dzikowski@emag.pl](mailto:a.dzikowski@emag.pl)  
 Instytut Technik Innowacyjnych EMAG