

HAMOWANIE DYNAMICZNE SILNIKÓW INDUKCYJNYCH NA PRZENOŚNIKACH TAŚMOWYCH O UJEMNYM KĄCIE NACHYLENIA W PGE GIĘK S.A. ODDZIAŁ KWB TURÓW

DYNAMIC BRAKING OF INDUCTION ENGINES IN BELT CONVEYORS WITH NEGATIVE ANGLE OF INCLINATION IN PGE GIĘK S.A. TURÓW BROWN COAL MINE BRANCH

Konrad Leśniewski - Dział Cyfrowych Systemów Przemysłowych i Analiz PGE GIĘK S.A. Oddział KWB Turów

Obecnie wiele surowców jest wydobywanych z zastosowaniem metod górnictwa odkrywkowego. Najbardziej ekonomicznym i niezawodnym środkiem transportu do tego celu okazał się transport taśmowy. W górnictwie odkrywkowym węgla brunatnego i innych surowców są stosowane przenośniki taśmowe o dużych długościach, wydajnościach i prędkościach ruchu taśmy. Ze względu na uwarunkowania technologiczne przenośniki taśmowe są budowane z trasą opadającą o ujemnym kącie nachylenia. Stwarza to wiele problemów związanych z obliczeniami, projektowaniem oraz sterowaniem układami napędowymi przenośników.

Niniejsze opracowanie opisuje różne rodzaje hamowania elektrycznego silnikiem elektrycznym zatrzymując się na standardzie hamowania dynamicznego silnikiem indukcyjnym zainstalowanym na przenośniku taśmowym w Kopalni Turów. W pierwszych rozdziałach pracy została przedstawiona historia badań i wdrożeń pierwszych układów hamowania dynamicznego na przenośnikach taśmowych w Kopalni Turów. Kolejne rozdziały zawierają opis działania układu hamowania dynamicznego oraz algorytmu na przykładzie przenośników taśmowych w Oddziale KWB Turów. W opracowaniu znalazły się także obliczenia i zmienne realizowane w sterowniku PLC. Szczegółowo została przedstawiona parametryzacja układu oraz komunikaty zwracane przez system niezbędne dla obsługi oraz służb utrzymania ruchu. Duża część pracy została poświęcona hamowaniu mechanicznemu przy zastosowaniu hamulców tarczowych sterowanych hydraulicznie, które zostały wdrożone w Kopalni Turów jako prototyp w 2006 roku.

Opracowanie kończy się podsumowaniem w którym zostało zawartych szereg wniosków powstałych na przestrzeni kilku lat podczas eksploatacji układów hamowania dynamicznego silników indukcyjnych na przenośnikach taśmowych o ujemnym kącie nachylenia w Kopalni Turów. W ostatnim rozdziale pracy końcowej zostały zamieszczone wykresy zależności prądu silnika, prędkości taśmy oraz prądu hamowania silnika podczas dynamicznego hamowania silnikiem. Charakterystyki zostały wykonane rejestratorem pomiarowym podczas hamowania przenośnika w trzech sytuacjach : bez nadawy, z połową nadawy oraz z maksymalnym wypełnieniem niecki taśmy.

Currently, many raw materials are exploited with opencast mining technologies. The most economical and effective method of transport are belt conveyors. Long, highly efficient and high-speed conveyor belts are used during exploitation of brown coal and other raw materials. Because of technological conditions, belt conveyors are constructed with declining route and negative angle of inclination. This causes difficulties in calculations, designing and steering with conveyor power transmission system. The paper presents different types of braking with electric engine, but the main focus is on dynamic braking with induction engine installed on belt conveyors in Turów Mine.

The history of tests and implementations of first systems of dynamic braking in belt conveyors in Turów Mine are presented in the first chapter. Following chapters include description of dynamic braking system operation and algorithms on the example of belt conveyors in Turów Brown Coal Mine branch. The paper includes also calculations and variables for PLCs (Programmable Logic Controllers). System parameters and messages returned by the system indispensable for service and control staff are described in details in the paper. Large part of the paper is focused on mechanical braking with utilization of hydraulic disk brakes, implemented in Turów Mine as a prototype in 2006.

The summary of this paper includes conclusions based on several years of observations of dynamic braking systems of induction engines in belt conveyors with negative angle of inclination in Turów Mine. The last chapter of this paper includes diagram of dependencies between engine power, belt speed and power of braking engine during dynamic braking with engine. Characteristics have been performed with measurement recorders during braking in three situations: without feed, with half of the feed, and with maximal filling of the belt.

Charakterystyka hamowania silnikiem elektrycznym

W wielu napędach maszyn roboczych konieczne jest zastosowanie hamowania elektrycznego silników napędowych. Ten sposób hamowania jest często stosowany w celu:

- zwiększenia bezpieczeństwa pracy osób prowadzących obsługę maszyn roboczych,
- skrócenia czasu lub drogi wybiegu mechanizmów maszyn,
- zatrzymania elementów roboczych maszyn w określonym położeniu,
- skrócenia czasu jałowych okresów pracy między kolejnymi etapami procesu technologicznego.

Typowe zastosowanie hamulca elektrycznego:

- windy, dźwignice, żurawie;
- piły, heblarki;
- przenośniki;
- podnośniki, suwnice;
- pompy;
- wibracyjne transportery [1].

Hamowanie silnikiem elektrycznym polega na zamianie w nim energii potencjalnej lub kinetycznej układu na energię elektryczną, powodując tym samym zmniejszanie się prędkości układu. Elektryczne hamowanie silnikiem występuje wówczas, gdy moment elektromagnetyczny silnika działa w kierunku przeciwnym do kierunku prędkości obrotowej. Przy trójfazowym zasilaniu silnika indukcyjnego możemy zastosować jeden z trzech rodzajów hamowania. Są to:

1. Hamowanie naturalne (praca hamulcowa), zwane także hamowaniem przeciwrądem lub hamowaniem prądem sieci, występujące przy prędkości wirowania przeciwnej do kierunku wirowania pola magnetycznego.
2. Hamowanie prądnicowe (ze zwrotem energii do sieci), zwane nadsynchronicznym, które występuje przy prędkości wirnika większej od prędkości wirowania pola magnetycznego,
3. Hamowanie dynamiczne, czyli hamowanie prądem stałym.

Przy rozpatrywaniu każdego z rodzajów hamowania należy zwrócić uwagę na zakresy prędkości obrotowych oraz nachylenie charakterystyki mechanicznej silnika i urządzenia hamowanego. Okoliczności te w istotny sposób wpływają na ekonomiczność hamowania, gdyż energia hamowania, jaką pobiera silnik w formie energii mechanicznej, może być oddawana do sieci w postaci energii elektrycznej lub tracona w silniku i włączonych w obwód wirnika opornikach [2].

W układach napędowych, składających się z silnika elektrycznego i maszyny napędzanej, hamowanie jest najczęściej potrzebne, gdy trzeba zatrzymać układ będący w ruchu, zmniejszyć lub utrzymać stałą prędkość obrotową układu, w którym okresowo maszyna napędzana zwiększa swoją prędkość, gdyż staje się źródłem energii kinetycznej (np. w urządzeniach dźwigowych na skutek działania siły ciężkości opuszczanego ciężaru) [3].

Opis działania układu hamowania dynamicznego na przykładzie przenośników taśmowych w Oddziale KWB Turów

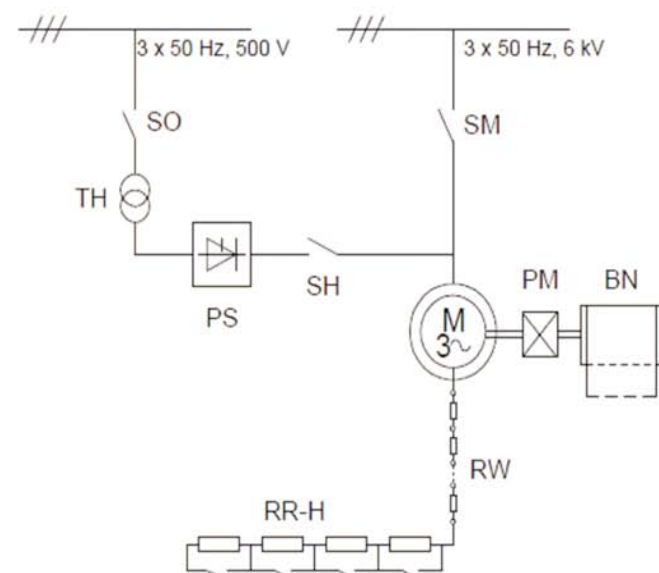
Jednym z ważnych stanów pracy przenośników taśmowych jest stan hamowania. Zatrzymywanie przenośników z trasą poziomą i wznoszącą się następuje samoczynnie pod działaniem

sił oporów ruchu. W przenośnikach tych wystarczające jest hamowanie za pośrednictwem hamulców mechanicznych, których zadaniem jest utrzymywanie przenośnika w stanie spoczynku po zatrzymaniu oraz ewentualne skrócenie zbyt długiego czasu wybiegu. Bardziej złożone problemy hamowania występują natomiast w przenośnikach z trasą opadającą.

Instytut Układów Elektromaszynowych był pierwszym krajowym ośrodkiem naukowym, który podjął badania i prace obliczeniowo-projektowe nad zagadnieniami napędu przenośników taśmowych transportujących w dół. W przenośnikach tych w przeważającym zakresie obciążeń konieczne jest hamowanie przenośnika również podczas pracy ustalonej.

Zatrzymywanie przenośników taśmowych z trasą opadającą wymaga zastosowania układów hamowania zapewniających możliwość regulacji momentu hamującego i dopasowania jego wartości do rzeczywistego obciążenia przenośnika. Hamowanie mechaniczne przenośnika następuje dopiero na etapie końcowym i ma za zadanie utrzymanie przenośnika w stanie nieruchomym po zatrzymaniu. Do hamowania przenośników z trasą opadającą zaproponowano zastosowanie układu regulowanego hamowania z wykorzystaniem hamowania elektrycznego silników napędowych przenośnika. Na podstawie analiz i badań prowadzonych w zespołach badawczych Instytutu został opracowany układ regulowanego hamowania prądem stałym silników indukcyjnych. Wyniki tych badań były podstawą wykonania projektów układów regulowanego hamowania elektrycznego dla silników o dużych mocach i zastosowania tych układów w przenośnikach taśmowych o trasie opadającej.

Przenośniki taśmowe z trasą opadającą stanowią grupę urządzeń o największych wymaganiach stawianym układom napędowym i ich sterowaniu. Z tych względów przedstawiony na rysunku 1 schemat zasilania i sterowania pojedynczym silnikiem w układzie napędowym przenośnika taśmowego transportującego w dół może być rozpatrywany jako przykład układu najbardziej ogólnego [6].



Rys.1. Schemat ogólny układu zasilania i sterowania silnikiem napędowym przenośnika taśmowego o trasie opadającej [6]

W układzie napędowym występuje 3-fazowy silnik indukcyjny pierścieniowy M, który podczas pracy ustalonej jest zasilany z sieci 3-fazowej prądu zmiennego o napięciu znamionowym 6 kV. W obwodzie wirnika silnika zastosowano

Tab. 1. Zestawienie parametrów hamowania [8]

Lp.	Obciąż Q[%]	Moc nap. P[kW]	Moment nap. Mu [Nm]	Moment bezwł. Jc[kgm2]	Moment hamow. Mh[Nm]	Czas hamow. TH [sek]
1	0	+199	+1900	560	3964	12
2	25	+7,9	+75	690	7150	12
3	50	-183	-1750	820	10337	12
4	75	-374	-3575	950	13524	12
5	100	-565	-5400	1080	16200	13

1. Wymagany moment hamowania napędu Mh został wyznaczony z uwzględnieniem opóźnienia wynikającego z przełączenia silników z napięcia 6kV AC, na zasilanie z prostowników sterowanych 100V DC.
2. Maksymalny moment hamowania dla silnika SZUre 136R, zasilanego prądem 100A DC. wynosi Mh= 8100Nm.

rezystory wyrównawcze RW z zaczeplami do regulacji oraz rezystory RR-H przełączane stycznikowo, wykorzystywane zarówno jako rezystory rozruchowe jak i rezystory hamowania. Podczas hamowania prądem stałym uzwojenie stojana jest

H02P P. 221708 31.01.1980

Centralny Ośrodek Badawczo-Projektowy Górnictwa Odkrywkowego „Poltegor”, Wrocław, Polska (Marek Kwaśkowski, Lech Plantos, Józef Hreczuch, Bogdan Wisniewski, Tomasz Korzeniowski).

Sposób i układ hamowania silnika synchronicznego o wirniku połączonym z dużą masą

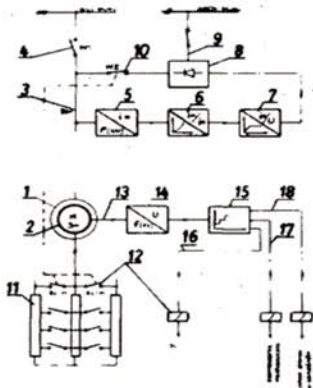
Wynalazek rozwiązuje zagadnienie opracowania sposobu i układu, powodujących zahamowanie silnika wraz z całym urządzeniem napędzanym przy zachowaniu stałego czasu hamowania przy różnych stopniach obciążenia silnika.

Sposób według wynalazku polega na tym, że odłącza się uzwojenia stojana od zasilania i dołącza do uzwojeń wirnika dodatkowe rezystory. Do stojana wprowadza się prąd stały, którego wartość uzależnia się od obciążenia silnika w momencie zasilania. Podczas hamowania mierzy się prędkość obrotową wirnika i przetwarza na wielkość elektryczną. Na podstawie wielkości elektrycznej dobiera się wartość dodatkowych rezystorów dołączonych do uzwojeń wirnika.

Układ hamowania zawierający rezystory podłączone do uzwojeń wirnika oraz wyłącznik zasilania stojana, według wynalazku charakteryzuje się tym, że

do przewodu zasilającego (3) ma podłączone źródło prądu stałego (8) z możliwością regulacji, sterowane zespołem regulacyjnym. Do wirnika (2) dołączony jest zespół pomiaru obrotów (14) z przekształtnikiem (15) o co najmniej trzech wyjściach, z których jedno jest połączone z wyłącznikiem (12) dodatkowych rezystorów (11) wirnika (2).

Wynalazek przeznaczony jest do napędu urządzeń o dużej masie jaką może stanowić przenośnik taśmowy. (4 zastrzeżenia)



Rys.2. Wyciąg z Biuletynu Urzędu Patentowego Nr 17 (201) z 1981 roku

odłączane od sieci prądu zmiennego i przyłączane do źródła napięcia stałego otrzymywanego z prostownika sterowanego PS, zasilanego przez transformator obniżający z sieci niskiego napięcia. Po pominięciu obwodów elektrycznego hamowania prądem stałym otrzymuje się schemat układu stosowanego w typowych konstrukcjach przenośników taśmowych [6].

W wyniku prowadzonych badań i analiz postanowiono w Kopalni Turów zastosować pierwsze układy hamowania

dynamicznego przenośników o ujemnym kącie nachylenia, na ciągu zwałowania w roku 1980. Niniejsze przedsięwzięcie zostało opatentowane w Urzędzie Patentowym przy udziale Centralnego Ośrodka Badawczo-Projektowego Górnictwa Odkrywkowego „Poltegor” oraz pracowników Kopalni Turów. Oto wyciąg z Biuletynu Urzędu Patentowego Nr 17 (201) z 1981 roku.

Zmiany układu technologicznego w Kopalni i budowa kilku przenośników taśmowych o trasie opadającej pod koniec lat 90-tych skłoniły służby techniczne do zastosowania kolejnych układów hamowania dynamicznego silników elektrycznych. Projekty zostały opracowane przez IGO Poltegor - Instytut oraz UNICO Katowice. Układy zostały zainstalowane na przenośnikach pochylonych w tym, między innymi, na przenośniku P 5.6. Dla obliczeń przyjęto następujące parametry ww. przenośnika:

1. $L=350m$, $H=-36m$, $P=2 \times 630kW$, $Q=11050t/h$.
2. Opory ruchu (Mu - moment obciążający silniki).
 - $Q = 11050 t/h$ $Mu = -5400Nm$
 - $Q = 0 t/h$ (pusty) $Mu = +1900Nm$
3. Moment bezwładności Jc
 - $Q = 11050 t/h$ $Jc = 1080kgm^2$
 - $Q = 0 t/h$ (pusty) $Jc = 560kgm^2$

Stacja elektroenergetyczna została wyposażona w układ dynamicznego hamowania napędu taśmy przenośnika i hamulce tarczowe. Do zasilania uzwojeń silnika napięciem stałym, jest wykorzystany specjalizowany prostownik sterowany typu DV-300 produkcji General Electric, w którym realizowany jest szereg funkcji kontrolnych umożliwiających ocenę stanu prostownika przed i w czasie hamowania dynamicznego. W pierwszych projektach korzystano ze sterownika typu DHS produkcji ZPUA Wrocław, jednak ze względu na jego dużą usterkowość postanowiono go zastąpić.

Poniżej opisano warunki konieczne w procesie hamowania, które zostały przedstawione dla jednego silnika zasilanego z pola 5, dla pozostałych silników warunki te są identyczne:

- A. Załączenie stycznika hamowania EIQ5.2+, może nastąpić wyłącznie po stwierdzeniu wyłączenia stycznika EIQ5.1-, stany styczników należy sprawdzać na podstawie przełączenia styków kontrolnych w czasie max 0,8 sek. Dodatkowym warunkiem załączenia EIQ5.2 jest zanik napięcia zmiennego na uzwojeniu silnika, kontrolowany przełącznikami podnapięciowymi PUA.1, PUA.2 i PUA.3. Przełączniki te muszą zostać pobudzone po załączeniu EIQ5.1 i muszą zostać wyłączone po wyłączeniu

E1Q5.1. Stan ich przełączania należy kontrolować.

B. Załączenie i wyłączenie stycznika hamowania E1Q5.2 może nastąpić wyłącznie przy braku napięcia i prądu w obwodzie prostownik - silnik, taki stan prostownika jest wymuszany jeżeli:

- zostały wycofane polecenia „czuwanie” i „hamowanie”, i/lub
- zostaną zablokowane impulsy zapłonowe prostownika.

Powyższe warunki sprawdza układ sterowania programowego PROMOS, a następnie steruje pracą styczników silników napędu taśmy i pracą prostowników zasilających uzwojenia stojanów silników. Szczegółowy algorytm oraz parametryzacja układu hamowania dynamicznego przonośnika została przedstawiona w kolejnych rozdziałach opracowania.

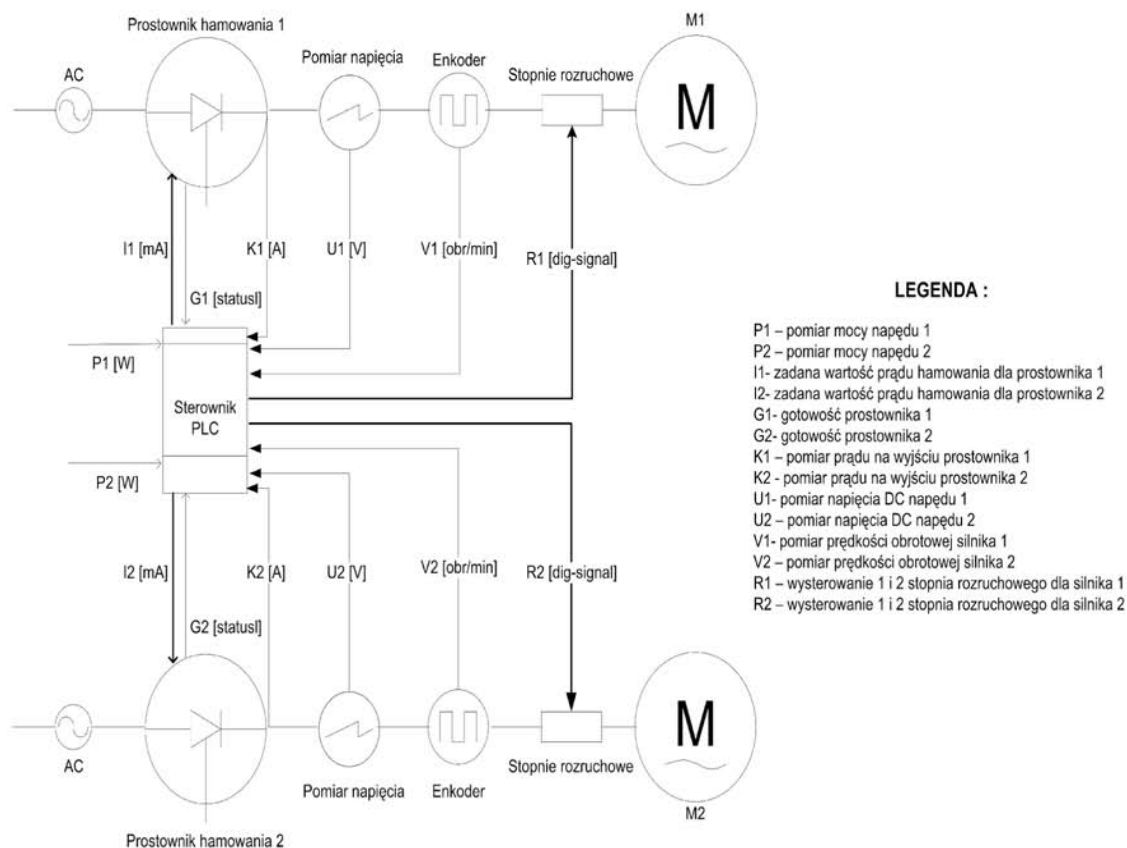
Algorytm hamowania dynamicznego

Opis sterowania układu hamowania dynamicznego

Hamowanie dynamiczne silnikami napędowymi przonośnika M1 i M2 polega na tym, że po odłączeniu ich od sieci 6kV, uzwojenie stojana każdego z silników zostaje przyłączone do źródła prądu stałego 100V. Do zasilania uzwojeń silników M1 i M2 napięciem stałym jest wykorzystywany prostownik 1 i prostownik 2 – w tym przypadku typu DV-300 firmy GE, w którym realizowanych jest szereg funkcji kontrolnych przedstawionych na schemacie blokowym, umożliwiających ocenę stanu prostownika przed i w czasie hamowania dynamicznego. Prostownik 1,2 po załączeniu napięcia zasilania umożliwia samokontrolę przez pracę na własne obciążenie (praca na rezystor), stan ten nazywany jest umownie „czuwanie”. Alternatywą dla tego stanu jest tryb „hamowanie” podczas realizacji procesu

hamowania dynamicznego. W tym czasie oba prostowniki realizują funkcję G1 i G2 w wyniku której wysyłają do sterownika PLC statusy informujące o wybranym trybie pracy (czuwanie lub hamowanie) oraz o swojej sprawności i gotowości. Funkcje K1,U1 i K2, U2 w stanie „hamowanie” kontrolują na wyjściu prostowników prąd i napięcie, co umożliwi ocenę tego procesu przez sterownik PLC. Natomiast, gdy owe funkcje stwierdzą w obwodzie prostownik – silnik brak napięcia i prądu, wówczas sterownik PLC potwierdza stan bez hamowania i prostowniki przechodzą w stan „czuwanie”.

Po prawidłowym odłączeniu napięcia zasilającego 6kV ze stojana każdego z silników M1 i M2 i załączeniu napięcia 100V (patrz - procedura hamowania opisana poniżej) sterownik PLC analizuje parametry otrzymane od prostowników w wyniku realizacji funkcji G1, K1, U1 i G2, K2, U2. Na tej podstawie oraz na podstawie pomiaru mocy pobieranej przez silniki w chwili poprzedzającej ich wyłączenie (wartości mocy silników przekazywane są przez funkcje P1 i P2) sterownik PLC poprzez funkcje I1 i I2 zadaje wartość początkową prądu hamowania dla prostowników w zakresie $12,6 \div 20$ mA zgodnie z tabelą nr 1. Po czasie 1,5 sek. kontroluje ponownie prąd i napięcie (funkcje K i U) i przełącza prostownik w stan „hamowanie”. W przypadku braku sygnalizacji prądu i napięcia odbywa się hamowanie mechaniczne przy użyciu hamulców tarczowych. W procesie hamowania sterownik PLC za pomocą funkcji V1 i V2 kontroluje prędkość obrotową silników i w zależności od osiągniętej prędkości wirowania tak jak pokazuje tabela nr 1łącza odpowiednio styczniki rozruszników 1 i 2 stopnia (realizowane są funkcje R1 i R2) w celu wspomagania hamowania dynamicznego. W zależności od uzyskiwanej prędkości obrotowej napędów podczas hamowania sterownik PLC za pośrednictwem prostowników dokonuje korekty wartości prądu



Rys.3. Schemat blokowy sterowania układem hamowania dynamicznego przonośnika

Tab. 2. Zestawienie nastaw hamowania

Lp.	Q [%]	P [kW]	I hamow. [A]	I zad. [mA]	V [obr/min]			
					C-1stop	D-1stop	C-2stop	D-2stop
1	0-20	do-25	54	12,6	440	280	190	-
2	20-40	-25...-350	67	14,7	525	330	230	-
2	40-60	-350...-670	79	16,6	610	380	250	130
3	60-80	-670...-990	90	18,4	700	425	270	150
4	80-100	-990...-1320	100	20,0	760	480	280	180

Legenda oznaczeń w tabeli 2 :

Q – obciążenie przesyłnika,

P – obciążenie napędu,

I_{ham} – wartość prądu hamowania w obwodzie prostownik – silnik dla każdego silnika,

I_{zad} – wartość zadana ze sterownika PLC dla prostownika [$4 \div 20mA = 0 \div 100A$],

V – prędkości wirowania dla zwierania stycznych rozruszników dla silników M1 i M2.

hamowania w stosunku do wyznaczonej linii zaniku prędkości. Przy prędkości napędów $0,05 V_n$ następuje załączenie „blokady impulsów” dla prostownika i wyłączenie stanu „hamowanie”. Po 3 sek. od zaniku prądu i napięcia (funkcje K i U) następuje wyłączenie styczników hamowania przez sterownik PLC.

Zatrzymanie przesyłnika hamulcami mechanicznymi jest realizowane zawsze, jeżeli:

- zanikną napięcia sterownicze,
- wystąpi awaria układu pomiaru prędkości silnika napędowego,
- prędkość bębna napędowego przekroczy :
 - $1,1 V_n$ w ruchu ustalonym,
 - $1,2 V_n$ w czasie od wyłączenia stycznika silnika,
- w czasie hamowania dynamicznego, wystąpi odchyłka $>20\%$ od zadanej prostej zaniku prędkości,
- nastąpi przerwanie rozruchu dla prędkości taśmy $V_t < 0,5 V_n$,
- wystąpi awaria „zespołu hamowania”.

W przedstawionym, w schemacie blokowym przypadku, kiedy występuje więcej jak jeden „zespół hamowania”, stan awaryjny jednego zespołu spowoduje, że przesyłnik będzie uruchamiany i hamowany pozostałym sprawnym zespołem i może dalej pracować z ograniczoną wydajnością do 60% wydajności obliczeniowej. W przypadku niesprawności jednego zespołu, wartość początkową prądu stałego zasilającego uzwojenia stojanów wybierana jest zawsze jako wartość max IDC = 95 A, a następnie korygowana w funkcji zaniku prędkości wirowania napędu.

Obliczenia i algorytmy realizowane w sterowniku PLC

Zmienne obsługiwane w sterowniku PLC

Zmienne obsługiwane przez sterownik PLC wykorzystane w poszczególnych algorytmach :

$$dv = V_{zn} / T_k$$

dv = kwant prędkości obrotowej silnika,

V_{zn} = prędkość znamionowa silnika,

T_k = czas kontroli hamowania (wartość parametryzowana, założono 20 sek.).

Algorytm na załączenie hamulców mechanicznych:

jeżeli: $[(v - t * dv) > dV_{max}]$ LUB $[v < 0,2 V_{zn}]$ to załącz hamulce tarczowe

v = prędkość bieżąca silnika,

t = czas bieżący,

dV_{max} = maksymalna odchyłka prędkości obrotowej silnika (wartość parametryzowana, założono 200 obr/min).

Algorytm zadawania prądu hamowania:

-jeżeli w punkcie kontroli 1 (T_{k1}): $v > V_{k1}$ to $I_h(T_{k1}) = I_{hp} + I_{k1}$ w przeciwnym razie $I_h(T_{k1}) = I_{hp}$

T_{k1} = czas punktu 1 kontroli (wartość parametryzowana, założono 2 sek.),

V_{k1} = prędkość obrotowa punktu 1 kontroli (wartość parametryzowana, założono $0,6 V_{zn}$),

I_h = bieżący prąd hamowania,

I_{hp} = początkowy prąd hamowania (50A),

I_{k1} = prąd korekcji nr 1 (wartość parametryzowana, założono 20 A)

-jeżeli w punkcie kontroli 2 (T_{k2}): $v > V_{k2}$ to $I_h(T_{k2}) = I_h(T_{k1}) + I_{k2}$ w przeciwnym razie $I_h(T_{k2}) = I_h(T_{k1})$

T_{k2} = czas punktu 2 kontroli (wartość parametryzowana, założono 4 sek.),

V_{k2} = prędkość obrotowa punktu 2 kontroli (wartość parametryzowana, założono $0,4 V_{zn}$),

I_{k2} = prąd korekcji nr 2 (wartość parametryzowana, założono 20 A).

Parametry związane z hamowaniem dynamicznym

Wykaz parametrów w programie sterownia możliwych do zmiany przez użytkownika :

WARTOSC.\$=X.ZNAMIONOWA_PREDKOSCI_SILNIKA = 990 {RPM}

WARTOSC.\$=X.PRADU_DHS_CZUWANIA = 5 {A}

WARTOSC.\$=X.KOREKCJI1_PRADU_HAMOWANIA = 20 {A}

WARTOSC.\$=X.KOREKCJI2_PRADU_HAMOWANIA = 20 {A}

WARTOSC.\$=X.KALIBRACJA_IMPULSATORA = 2770 {dla 50imp/obr=2770, 125obr/imp=1108}

WARTOSC.\$=X.PREDKOSCI_1_KONTROLI = 0.6 {Vznam}

WARTOSC.\$=X.PREDKOSCI_2_KONTROLI = 0.4 {Vznam}

WARTOSC.\$=X.MAX_ODCHYLKI_PREDKOSCI = 200 {obr/min}

WARTOSC.\$=X.OFFSET_PRADU_HAMOWANIA = 6 {AMPER}

CZAS.\$=X.ZRZUTU_UROBKU = 66 {345m / 5.25 m/s}

CZAS.\$=X.PUNKTU1_KONTROLI_DHS = 2 {sek}

CZAS.\$=X.PUNKTU2_KONTROLI_DHS = 4 {sek}

CZAS.\$=X.KONTROLI_HAMOWANIA_DYNAMICZNEGO = 20 {sek}

BLOKADA.S=X.PRACY_Z_HAMOWANIEM = 0
 BLOKADA.S=X.KONTROLI_HAMOWANIA = 0
 BLOKADA.S=X.WYLACZENIA_TASMY_OD_DHS = 0
 [7]

Procedura hamowania – podsumowanie

Przebieg procedury hamowania jest następujący:

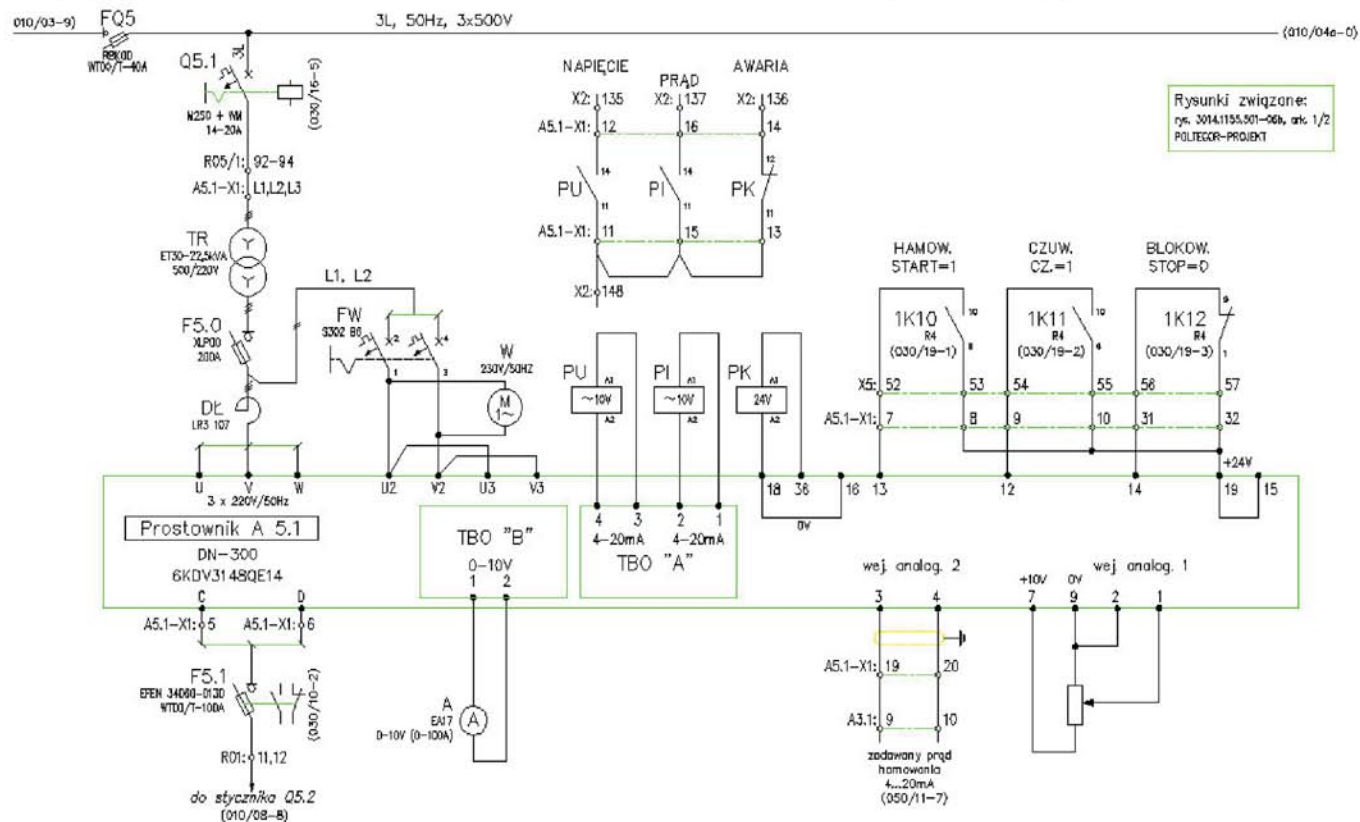
- zdjęcie odblokowania dla nadawy
- załączenie blokady impulsów K12- i wyłączenie stanu czuwania K11-
- odmierzenie czasu wybiegu
- wyłączenie stycznika głównego napędu SMA- (E1Q5.1) i SMC- (E1Q6.1)
- oczekiwanie na zanik napięcia na silnikach wykrywany przez czujnikami podnapięciowymi PUA1, PUA2, PUA3, PUC1, PUC2, PUC3
- sprawdzenie na prostowniku DHSx braku napięcia PU+ i braku prądu PI+
- wyłączenie i sprawdzenie wyłączenia styczników oporów rozruchowych
- odmierzenie zwłoki czasowej 0,8sek po sygnalizacji zaniku napięcia na silniku
- załączenie bezprądowe stycznika hamowania SMAH (E1Q5.2+), SMCH (E1Q6.2+)
- wysterowanie zadanej wartości początkowej dla prostownika prądu hamowania na podstawie pomiaru mocy pobieranej przez silnik w chwili poprzedzającej jego wyłączenie
- załączenie stanu hamowania K10+ i wyłączenie blokady impulsów K12+
- po czasie 1,5sek kontrola napięcia prostownika PU- i prądu prostownika PI-

- załączenie styczników rozrusznika 1 i 2 stopnia wg formuły
- korekcja wartości prądu hamowania w zależności od wartości odchyłki prędkości obrotowej silnika w stosunku do teoretycznie założonego spadku prędkości
- przy prędkości obrotowej 0,2 prędkości znamionowej silnika zwolnienie hamulców mechanicznych przez zdjęcie napięcia ze styczników SHA , SHC i z elektrozaworów hydrauliki hamulców tarczowych
- przy prędkości obrotowej 0,05 prędkości znamionowej silnika załączenie blokady impulsów prostownika K12- i wyłączenie stanu hamowania K10-
- sprawdzenie po 3 sek zaniku napięcia prostownika PU+ i prądu prostownika PI+ i wyłączenie stycznika hamowania SMAH (SMCH)
- w przypadku braku zaniku prądu lub braku zaniku napięcia prostownika wyłączone jest zasilanie prostownika przez wyłącznik E2Q5.1- (E2Q5.2-) a dopiero po tym wyłączany jest stycznik hamowania SMYH (y=A, C)

Hamowanie dynamiczne z ograniczeniami – hamowanie mechaniczne

Przenośnik jest hamowany mechanicznie przy wykorzystaniu hamulców tarczowych, w których źródłem hamowania jest pakiet sprężyn talerzowych, a odhamowanie następuje w chwili podania ciśnienia w układzie hydrauliki. Zatrzymanie przenośnika hamulcem mechanicznym realizowane jest w przypadku, gdy:

- zanikną napięcia sterownicze,
- wystąpi awaria układu pomiaru prędkości bębna napędowego,
- prędkość bębna napędowego przekroczy $1,1V_n$ w ruchu ustalonym lub $1,2V_n$ w czasie od wyłączenia stycznika silnika,



Rys.4. Schemat zasilania i powiązań sterownika

- w czasie hamowania dynamicznego wystąpi odchyłka $> 20\%$ od zadanej prostej zaniku prędkości,
- nastąpi przerwanie rozruchu dla prędkości taśmy $V_t < 0,5 V_n$
- wystąpi awaria „zespołu hamowania” w skład której wchodzi silnik, stycznik hamowania, dodatkowa rezystancja, prostownik i przełącznik podnapięciowy.

Zespół hamulców tarczowych został wdrożony w Kopalni Turów po raz pierwszy w 2006 roku dla przenośnika taśmowego 2 x 630 kW oznaczonego symbolem C12.2. Zainstalowanie układu hamulców było poprzedzone pracą badawczą pn. „Wykonanie układu hamulców tarczowych dla przenośnika taśmowego 2x630 kW wraz z dokumentacją i wdrożeniem” opracowaną przez Instytut Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej. Celem niniejszej pracy było przeprowadzenie badań dynamiki przenośnika taśmowego z jednym bębniem napędowym i hamulcami tarczowymi firmy SVENDBORG BRAKES A/S sterowanymi sterownikiem typu SOBO, w różnych stanach obciążenia. Uzyskane wyniki badań i pomiarów stanowiły podstawę do określenia możliwości wykorzystania systemu hamowania wykorzystującego hamulce tarczowe z dociskiem hydraulicznym sterowanym według zadanego programu. Stwierdzono między innymi, iż zastosowanie hamowania jednostopniowego (równoważnego efektywnemu hamowaniu hamulcami bębnowymi z luzownikami) powoduje generowanie znacznych wartości naprężeń taśmy wywołujących odpowiednie drgania mechaniczne taśmy przenoszące się na cały układ napędowy przenośnika. Istotne ograniczenia naprężeń w taśmie uzyskuje się dzięki zastosowaniu systemu sterowania SOBO umożliwiającego regulację wartości siły hamowania, w zało-

żonym czasie, w funkcji prędkości obrotowej silników. Unika się dzięki temu, występowania poślizgu taśmy oraz uzyskuje się wydatne ograniczenie drgań mechanicznych całego układu napędowego przenośnika, zwiększającego w efekcie trwałość i niezawodność pracy wszystkich elementów i podzespołów mechanicznych tego układu.

Zastosowanie hamulców tarczowych ze sterowaniem hydraulicznym i sterownikiem SOBO daje możliwość wyboru tak opcji jak i programu hamowania, co sprawia, że hamulce tarczowe z uwagi na swą elastyczność są zdecydowanie bardziej efektywne w porównaniu z hamulcami bębnowymi sterowanymi luzownikami. Należy jednak podkreślić, że optymalizacja procesu hamowania przenośnika jest ściśle związana ze sposobem rozwiązania układu napędowego tego przenośnika. Wymaga to indywidualnego podejścia wraz z przeprowadzeniem odpowiednich badań dynamiki pracy przenośnika, szczególnie w odniesieniu do wielosilnikowych układów napędowych [4].

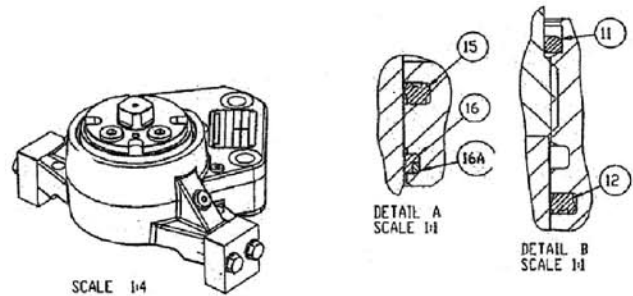
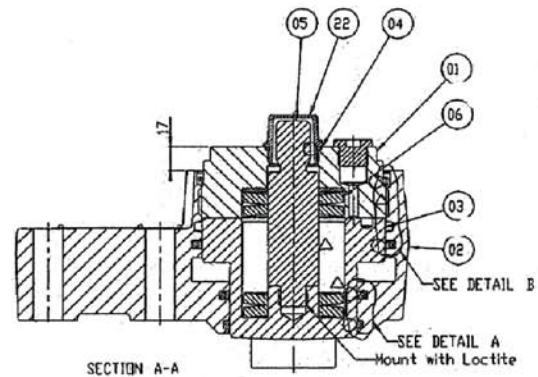
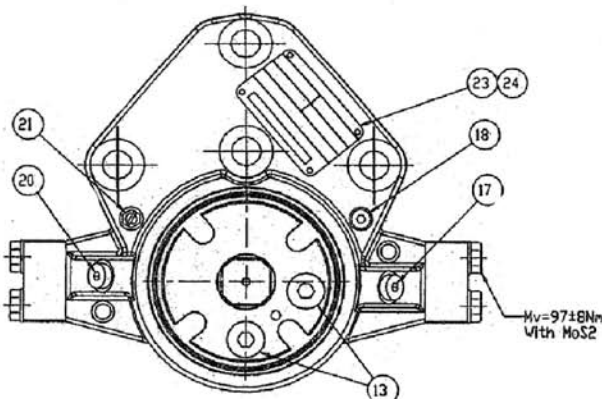
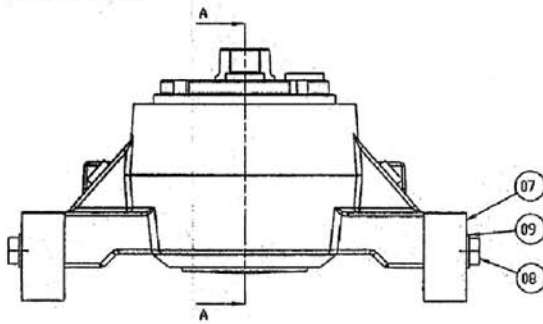
Zainstalowany układ hamulcowy składa się z następujących elementów :

- 2 par siłowników hydraulicznych typu BSFI 323-S-200,
- agregatu hydraulicznego typu PU 1013-0021-801,
- sterownika SOBO.

Układ hamulcowy może pracować w następujących konfiguracjach :

- jako opcja typu „220” zapewniająca hamowanie 2-stopniowe,
- jako opcja SOBO zapewniająca hamowanie zgodne z zadaną charakterystyką.

REV.A 91537 RRH 12/00
REV.B 91594 RRH 25/00
REV.C 91643 RRH 33/00
REV.D 92220 RRH 02/22
REV.E 92763 CUT 31.01.2005

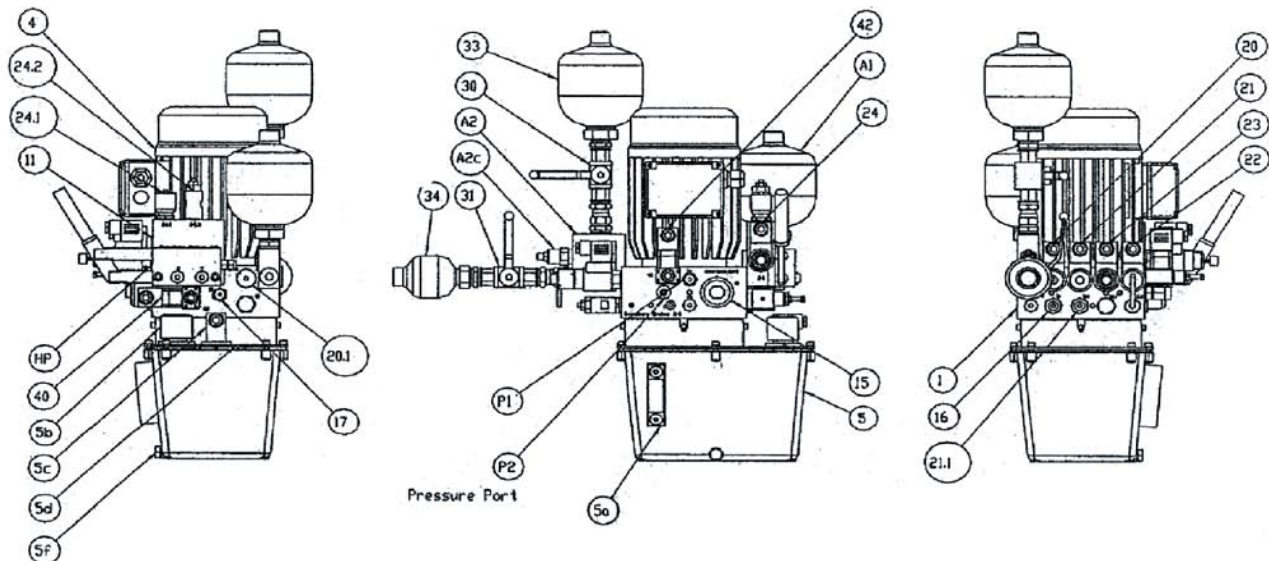


Weight without brake pad: 29 kg

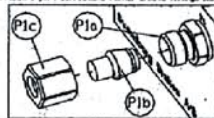
Lubrication:
○ Mineral or synthetic oil
△ Grease: Molycote P74

Tolerances for corner radii, angles, chamfers and threads according to: DS/EN 6061 - n		Indicates Ro. in mm	All dimensions in mm	Accept for prod. by
Drawn by	RRH	BSFI 300-S-200	Drawing No.	Draw/Design checked by
Date	02/22			Revision
SVENDBORG BRAKES		4902051		Scale 2:5 (A3)
				Sheet 1 of 1 sheets

Rys.5. Siłownik hydrauliczny BSFI 323-S-200 [5]



Pressure port connection for extra fittings etc.



Tolerances for corner radii, angles, chamfers and threads according to BS/EN 22768 - m	✓ Indicates Ra in µm	All dimensions in mm	Accept for prod. by:
Drawn by RRJensen	⊕	Description Hydraulic Power Unit	Drawn/Design checked by
Date: 24.11.2005		Drawing No. 1013-0121-801	Revision
SVENDBERG BRAKES			Scale 1:5 (A3)
			Sheet 2 of 2 sheets

Rys.6. Agregat hydrauliczny PU 1013-0021-801 [5]

Siłownik hamulcowy typu BSFI jest przeznaczony do przenoszenia momentu hamującego na tarczę hamulcową w celu jej zatrzymania. Wymieniony siłownik jest typu pasywnego i jest dostarczany ze standardowym pakietem sprężyn (6), które dociskają tłok (3) i okładziny hamulcowe do tarczy. Siła reakcji jest przenoszona przez tuleję nastawną (1) do jarzma (2). Operowanie hamulcem polega na dostarczaniu i odcinaniu zasilania hydraulicznego. Brak siły hamowania występuje w momencie dostarczenia ciśnienia do siłownika hydraulicznego – następuje krótki ruch tłoka (3) powodujący ściśnięcie pakietu sprężyn. Ruch osiowy tarczy hamulcowej odsuwa okładziny hamulcowe powodując uwolnienie tarczy.

Agregat hydrauliczny przeznaczony jest do zasilania jednego lub więcej siłowników hydraulicznych. W agregacie hydraulicznym silnik elektryczny (4) oraz pompa (2) dokonują zamiany energii elektrycznej na ciśnienie hydrauliczne, które jest ograniczone przez łącznik ciśnienia wyłączający silnik (40), gdy zadane ciśnienie zostało uzyskane oraz zawór bezpieczeństwa (16). Natomiast gdy ciśnienie spadnie poniżej założonej wartości następuje uruchomienie silnika (4) i jego uzupełnienie do wartości wymaganej. Zainstalowany zawór zwrotny (17) uniemożliwia spływ oleju do zbiornika. W skład zespołu hydraulicznego wchodzi także hydroakumulator (A1), który pracuje jako akumulator ciśnienia eliminujący częste załączanie silnika.

Podsumowanie – wnioski

Hamowanie dynamiczne silników indukcyjnych w Kopalni Turów jest obecnie powszechnie stosowanym standardem dla przenośników o ujemnym kącie nachylenia. W chwili powstawania niniejszego opracowania w/w układ hamowania

został zainstalowany na ośmiu przenośnikach taśmowych o następujących numerach zakładowych: C 7.2, P 5.5.1, P 5.5.2, P 5.5.3, P 5.5.4, P 5.6, Z 9.1 oraz Z 10.1. Kolejne przenośniki z trasą opadającą są także projektowane z funkcją hamowania dynamicznego.

Obecnie rozwijane są nowe konstrukcje mechaniczne przenośników oraz wprowadzane są nowe rodzaje elektrycznych układów napędowych i metod ich sterowania. Postęp techniczny w wymienionej dziedzinie pozwolił znacznie zoptymalizować proces hamowania przenośnika. Precyzyjne sterowanie układem hamowania w ostatnich latach poprawiło jego skuteczność, co istotnie zmniejszyło wybiegi przenośnika. Pozwoliło to zmniejszyć ilość przesypów a tym samym zwiększyło wskaźnik wykorzystania potencjału wydobywczego. Przełomem okazało się zintegrowanie układu hamowania dynamicznego z hamulcami tarczowymi sterowanymi hydraulicznie. Poprzez ograniczenie naprężeń w taśmie oraz drgań mechanicznych całego układu wydłużyła się trwałość konstrukcji oraz niezawodność pracy wszystkich elementów i podzespołów mechanicznych, co w przyszłości powinno skutkować wydłużeniem okresów między-remontowych.

Ostatnie lata eksploatacji układów hamowania dynamicznego silników na przenośnikach w Kopalni Turów wykazały znaczną usterkowość stosowanych urządzeń energoelektrycznych firmy *General Electric* typu DV-300. Poszukiwane są układy prostownikowe o lepszej jakości wykonania obwodów silnoprządowych wykazujące mniejszą awaryjność. Obecnie testowane są prostowniki cyfrowe typu Mentor MP 155R dystrybuowane przez Aparator Toruń.

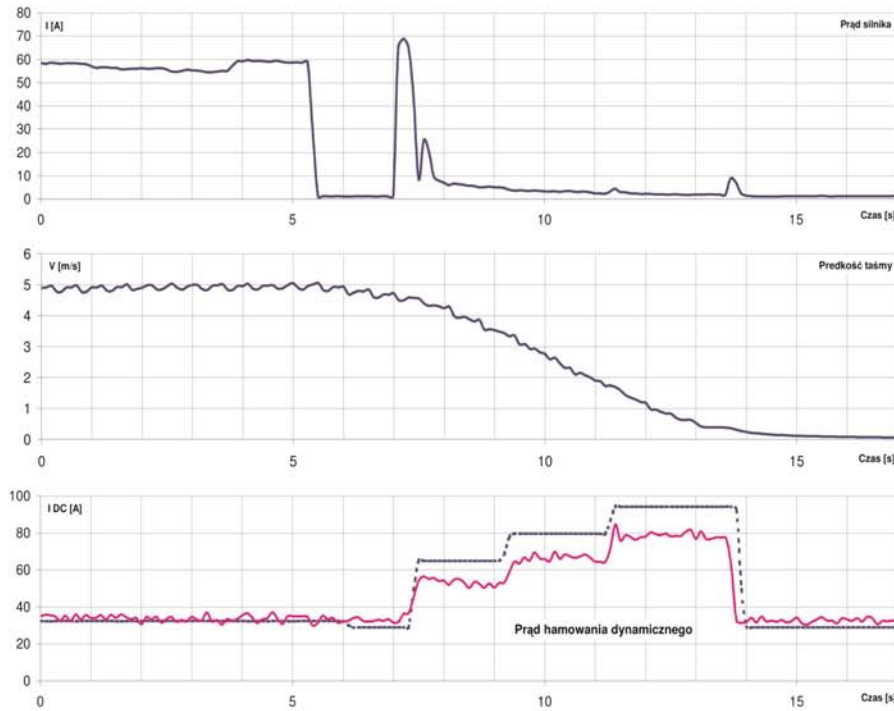
Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzenia, należy mieć świadomość, że przenośniki taśmowe dużej mocy stosowane w górnictwie odkrywkowym stanowią złożone układy elektro-

mechaniczne, których analiza, projektowanie i dobór stanowi wciąż trudny problem naukowy i techniczny. Wymaga to więc indywidualnego podejścia wraz z przeprowadzeniem odpow-

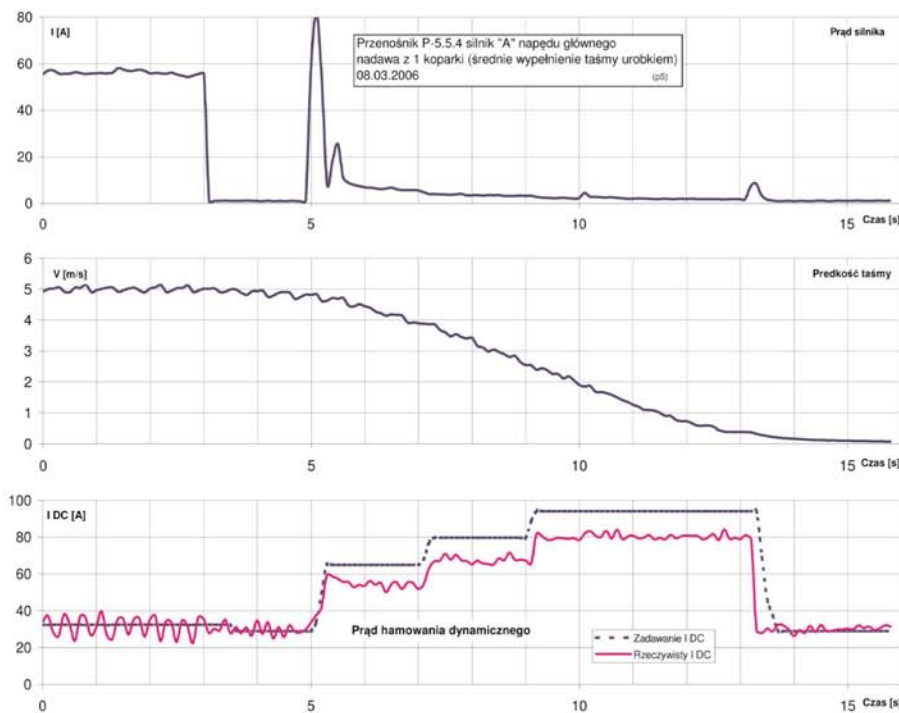
wiednich badań dynamiki pracy przenośnika, szczególnie w odniesieniu do wielosilnikowych układów napędowych.

Załącznik 1.

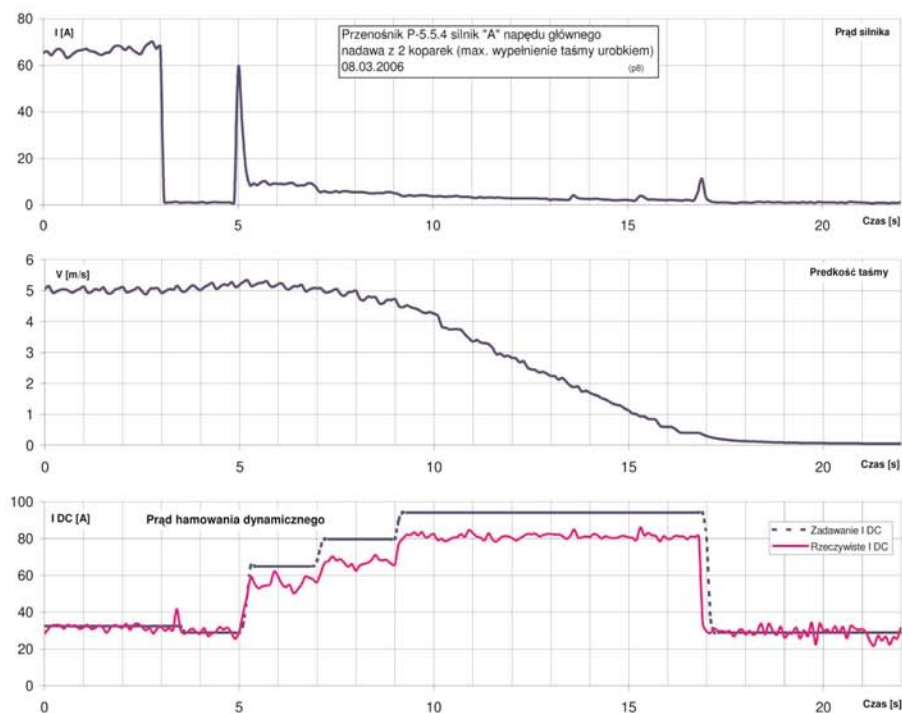
Wykresy zależności prądu silnika, prędkości taśmy oraz prądu hamowania podczas dynamicznego hamowania silnikiem.



Rys.7. Charakterystyka zależności przy pustej taśmie bez nadawcy.



Rys. 8. Charakterystyka zależności przy taśmie wypełnionej do połowy nadawą.



Rys.9. Charakterystyka zależności przy maksymalnie wypełnionej taśmie nadawą

Literatura

- [1] „Hamulec elektryczny”, 22.09.2008r. - http://pl.wikipedia.org/wiki/Hamulec_elektryczny
- [2] „Silniki asynchroniczne (indukcyjne) klatkowe i pierścieniowe” - http://www.neurosoft.edu.pl/akozioro/Elektrotechnika/Maszyzny_indukcyjne.pdf
- [3] Witold Jabłoński, Grzegorz Płoszajski, „Elektrotechnika z automatyką”, Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1996.
- [4] B. Miedziński, A. Szymański, Z. Okraszewski, S. Szkółka, G. Wiśniewski, „Raport – wykonanie układu hamulców tarczowych dla przenośnika taśmowego 2x630 kW wraz z dokumentacją i wdrożeniem”, Instytut Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2006r.
- [5] Svendborg Brakes, „Dokumentacja techniczno-ruchowa hamulca tarczowego z zastosowaniem sterownika typu SOBO”, 2006r.
- [6] Bogusław Karolewski, Krzysztof Pieńkowski, „Elektryczne układy napędowe przenośników taśmowych w górnictwie odkrywkowym”, Praca naukowa Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej Nr 58, Wrocław 2005r.
- [7] Andrzej Hak, Henryk Rojek, „Projekt techniczny powykonawczy – Automatykacja przenośnika P 5.6 (branża elektryczna : sterowanie i automatyka)”, nr ewidencyjny : 27713, UNICO Katowice 2001r.
- [8] Tomasz Klima, Jan Krawczyk, Ludwik Światała, „Przenośnik pochylniany, zbiorczy P 5.6 hamowany dynamicznie”, nr ewidencyjny : 27711, Poltegor-Projekt Sp.z o.o., Wrocław 2001r.

Zaprezentowane w treści referatu rozwiązania techniczne są własnością intelektualną wyszczególnionych firm i są chronione prawem autorskim.

Artykuł recenzował mgr inż. Zbigniew Borczyk
Rękopis otrzymano 16.08.2011 r. *2212