

Marian DOLIPSKI, Tadeusz GIZA,
Jan OSADNIK, Piotr SOBOTA

Instytut Mechanizacji Górnictwa
Politechniki Śląskiej, Gliwice

PRZEBIEGI POBORU MOCY ELEKTRYCZNEJ PRZEZ SIŁNIKI ŚCIANOWEGO PRZENOŚNIKA ZGRZEBŁOWEGO

Streszczenie. Znajomość wartości i przebiegów mocy rozwijanej przez silniki elektryczne poszczególnych zespołów napędowych, jest niezbędna przy prowadzeniu analizy zjawisk występujących w przenośnikach zgrzeblowych. W pracy zaprezentowano rezultaty pomiarów poboru mocy elektrycznej przez silniki przenośnika ścianowego w warunkach różnych obciążeń tego przenośnika urobkiem. Przedstawiono przykładowe oscylogramy poboru mocy, w tym również zarejestrowany przypadek pracy generatorowej silników przenośnika. Przeanalizowano rozdział mocy na poszczególne zespoły i dokonano oceny konsekwencji zmian wprowadzanych przez użytkowników w układach napędowych przenośników.

1. WSTĘP

Rozpoznanie, analiza i prawidłowa interpretacja zjawisk zachodzących w ścianowych przenośnikach zgrzeblowych wymagają prowadzenia - oprócz badań teoretycznych i stanowiskowych - pomiarów w warunkach dołowych, gdzie występują rzeczywiste warunki pracy tych maszyn. Ze względu na szereg ograniczeń - aparaturowych, technicznych i organizacyjnych - zorganizowanie i prowadzenie pomiarów w podziemiach kopalń nie jest łatwe, szczególnie w warunkach normalnej eksploatacji kompleksu ścianowego. Jest to jednakże jedyny sposób na uzyskanie informacji o wartościach i przebiegach obciążeń występujących w ścianowych przenośnikach zgrzeblowych podczas rozruchu i ruchu ustalonego w rzeczywistych warunkach ich pracy. Znajomość rzeczywistych obciążeń elementów przenośnika zgrzeblowego jest niezbędna dla prawidłowej oceny ich konstrukcji, kierunków wprowadzanych zmian konstrukcyjnych i jest podstawą do weryfikacji efektów wdrożonych ulepszeń. Wyniki pomiarów dołowych stanowią również cenną bazę danych do prowadzenia badań stanowiskowych i teoretycznych, zmierzających do pełnego wyjaśnienia zjawisk zachodzących w przenośnikach zgrzeblowych [1].

Jednym z podstawowych parametrów, którego znajomość jest niezbędna dla prowadzenia jakiegokolwiek analizy zjawisk zachodzących w przenośnikach

zgrzeblowych, jest moc rozwijana przez poszczególne silniki elektryczne w zespołach napędowych przenośnika. Współczesne przenośniki zgrzeblowe wyposażone są w zespoły napędowe pojedyncze lub zdwojone (w układzie równoległym RR, prostopadłym PP i mieszanym RP) w napędzie wysypowym i zwrotnym.

W skład zespołu napędowego przenośnika zgrzeblowego produkcji krajowej wchodzi:

- asynchroniczny silnik elektryczny (najczęściej o mocy 90 kW),
- sprzęgło hydrokinetyczne SH-100/75 (często zamieniane przez użytkowników na bezpośrednie sprzęgła podatne SPP-100Z),
- reduktory walcowe (w układzie P) lub walcowo-kątowe (w układzie R),

Pomimo, iż suma zainstalowanej mocy w przenośniku jest znaczna, występują poważne problemy z równomiernym obciążeniem wszystkich zespołów napędowych. Nierównomierność poboru mocy elektrycznej przez poszczególne silniki przenośnika może prowadzić do przeciążenia niektórych zespołów napędowych nawet przy niewykorzystaniu nominalnej mocy sumarycznej zainstalowanej w przenośniku [2,3]. Przeprowadzone pomiary poboru mocy pozwalają na określenie średnich mocy sumarycznych przy różnym obciążeniu urobkiem, częstości i amplitud drgań mocy pobieranych przez silniki oraz rozdział mocy na poszczególne zespoły napędowe przenośnika zgrzeblowego.

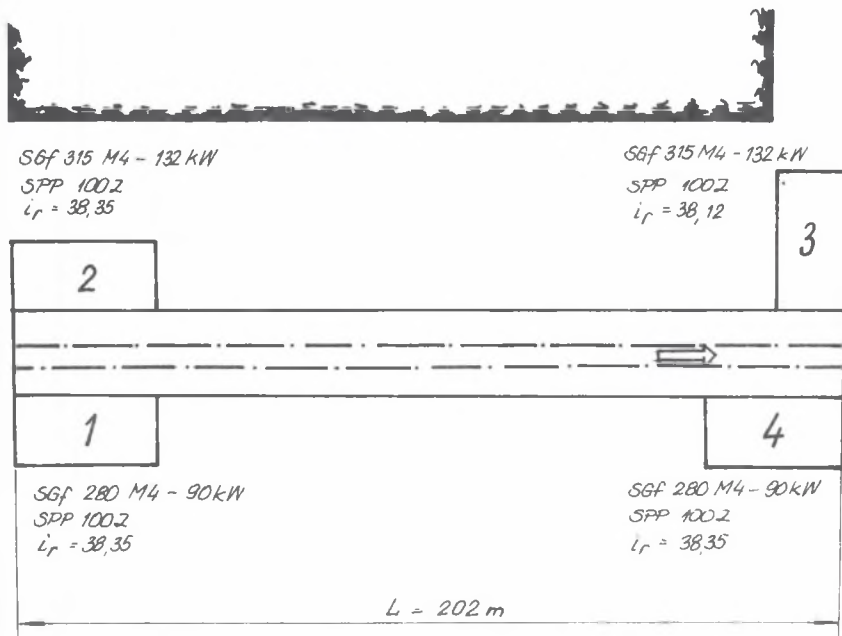
2. STANOWISKO DO POMIARU MOCY ŚCIANOWEGO PRZENOŚNIKA ZGRZEBLOWEGO

Pomiary mocy pobieranej przez silniki asynchroniczne ścianowego przenośnika zgrzeblowego przeprowadzono w kombajnowej ścianie kompleksowo zmechanizowanej G-4 pokładu 358/1 na poziomie 385 m w Kopalni Węgla Kamiennego "Sośnica" w Gliwicach. Dwułańuchowy przenośnik zgrzeblowy Rybnik-80 o długości 202 m transportował urobek po upadzie o nachyleniu 10 - 18°. W przenośniku zainstalowano dwa zespoły napędowe o mocy nominalnej 90 kW (silniki nr 1 i 4) i dwa o mocy 132 kW (silniki nr 2 i 3) w układzie RP w napędzie wysypowym i RR w napędzie zwrotnym (rys. 1). Sprzęgła hydrokinetyczne zastąpiono sprzęgłami podatnymi SPP-100 Z.

Pomiary mocy elektrycznej pobieranej przez silniki przenośnika dokonywano za pomocą przetworników mocy czynnej prądu przemiennego PP3, zainstalowanych wraz z przekładnikami prądowymi i napięciowymi w ognioszczelnych obudowach wyłączników kopalnianych. Mierzono równocześnie moc wszystkich czterech silników przenośnika i rejestrowano na taśmie świetlicozukłej oscylografu pętlicowego, co umożliwiło wyznaczenie współczynników rozdziału mocy, jako stosunku mocy pobieranej przez i-ty silnik do sumarycznej mocy wszystkich silników:

$$U_i = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^4 P_i}$$

Współczynniki te charakteryzują rozdział mocy na poszczególne zespoły napędowe przenośnika zgrzeblowego, określając jaką część mocy całkowitej rozwija i-ty silnik.

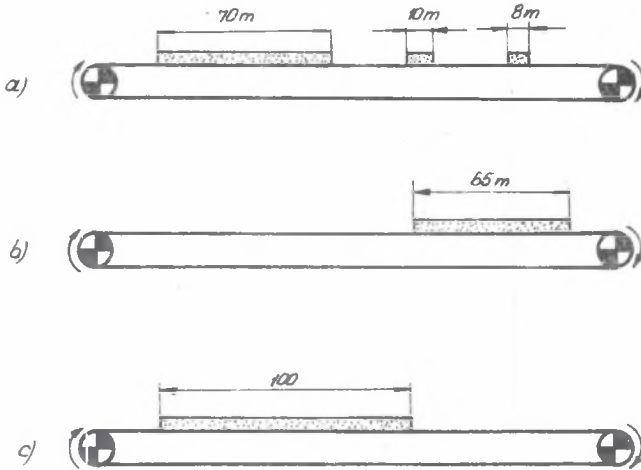


Rys. 1. Ścianowy przenośnik zgrzeblowy będący obiektem pomiarów
Fig. 1. Scheme of face scraper conveyor subject to measurements

3. PRZEBIEGI POKORU MOCY ELEKTRYCZNEJ PRZEZ SILNIKI ASYNCHRONICZNE PRZENOŚNIKA ZGRZEBŁOWEGO

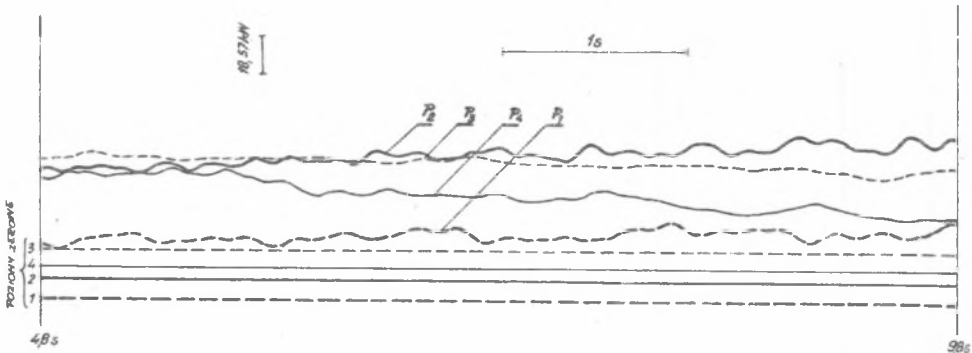
Pomiary poboru mocy elektrycznej przez silniki asynchroniczne prowadzono przy różnym stopniu obciążenia przenośnika zgrzeblowego urobkiem kamiennoc-węglowym. Dla każdego schematu załadunku urobku na długości przenośnika przedstawionego na rys. 2, zaprezentowano 5 sekundy fragment oscylogramu poboru mocy przez wszystkie silniki przenośnika ścianowego. W przebiegach poboru mocy przedstawionych na rys. 3, odpowiadających obciążeniu przenośnika urobkiem jak na rys. 2a, wyodrębnić można następujące częstotliwości drgań:

- silnik nr 1: 5,51; 26,17 rads^{-1}
- silnik nr 2: 10,13; 26,17 $39,25 \text{ rads}^{-1}$
- silnik nr 3: brak drgań
- silnik nr 4: 5,32; 10,83 rads^{-1}



Rys. 2. Schemat obciążenia przenośnika urobkiem

Fig. 2. Versions of loading the scraper conveyor with the winning



Rys. 3. Przebiegi poboru mocy przez silniki dla obciążenia przenośnika urobkiem jak na rys. 2a

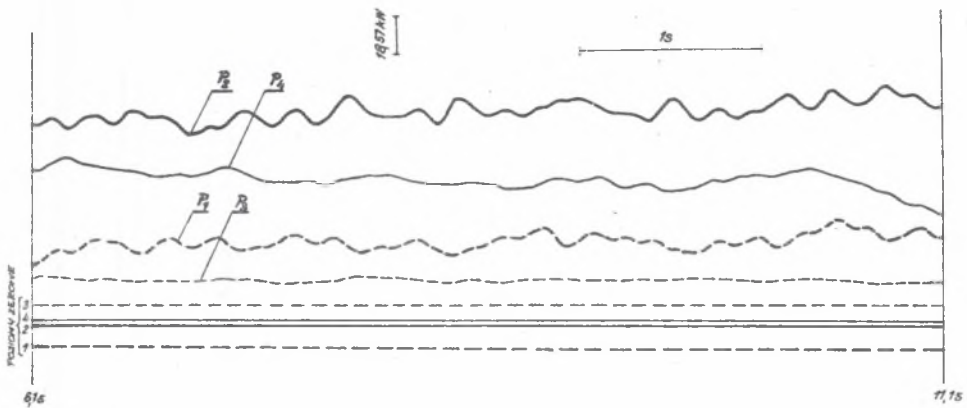
Fig. 3. Power consumption by the motors of the face conveyor which is loaded as shown in fig. 2a

Amplituda drgań poboru mocy wynosi około 13 kW, a średni sumaryczny pobór mocy dla przedstawionego fragmentu wynosi 176,4 kW. Poszczególne silniki asynchroniczne obciążone są nierównomiernie. Najbardziej obciążony jest silnik 2, którego średni pobór mocy wynosi 63,33 kW. Średni pobór mocy silnika 3 wynosi 53,01 kW. Mniej obciążone są silniki 1 i 4. Średni pobór mocy silnika 1 wynosi 32,24 kW, a silnika 4 tylko 26,76 kW. Miarą nierównomierności poboru mocy przez silniki asynchroniczne są współczynniki rozdziału mocy, które wynoszą odpowiednio:

$$u_1 = 0,1828, \quad u_2 = 0,359, \quad u_3 = 0,3005, \quad u_4 = 0,1517.$$

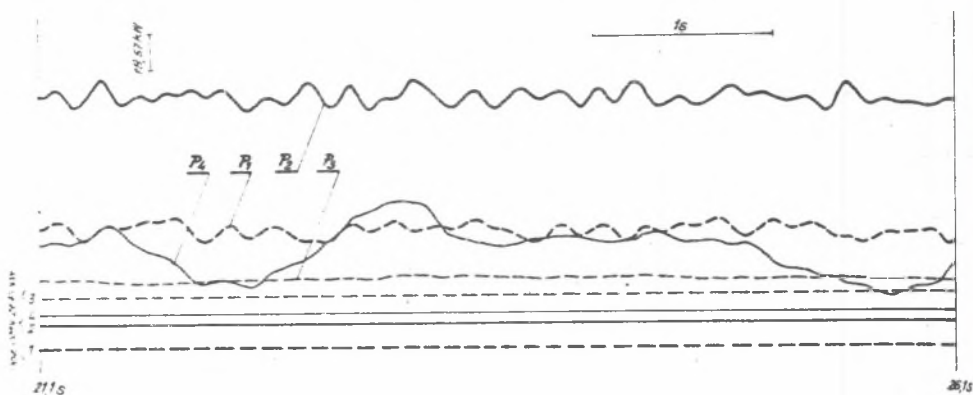
Drgania poboru mocy elektrycznej przez silniki asynchroniczne przenośnika obciążonego nosiwem jak na rys. 2b przedstawiono na rys. 4 dla 5 sekundo-owego odcinka w czasie od 6,1 s do 11,1 s po włączeniu pierwszego silnika oraz na rys. 5 dla fragmentu od 21,1 s do 26,1 s. Częstość drgań poboru mocy wynoszą odpowiednio:

- silnik 1: 3,92; 9,23; 22,42 rad s⁻¹,
- silnik 2: 9,23; 22,42 rad s⁻¹,
- silnik 3: nie wykazuje drgań,
- ✓ silnik 4: 3,57 + 3,83; 5,06; 7,30; 22,42 rad s⁻¹.



Rys. 4. Przebiegi poboru mocy przez silniki, dla obciążenia przenośnika urobkiem jak na rys. 2b

Fig. 4. Power consumption by the motors of the face conveyor which is loaded as shown in fig. 2b



Rys. 5. Przebiegi poboru mocy przez silniki, dla obciążenia przenośnika urobkiem jak na rys. 2b

Fig. 5. Power consumption by the motors of the face conveyor which is loaded as shown in fig. 2b

Amplituda drgań poboru mocy jest zmienna, a największą, wynoszącą 40,8 kW wykazuje silnik 4. Sumaryczna moc pobierana przez wszystkie silniki w miarę upływu czasu wyraźnie maleje, co związane jest z początkiem rozładowania przenośnika i dla kolejnych 5 sekundowych odcinków wynosi: 243,7 kW (rys. 4); 240,2 kW; 231,3 kW; 212,5 kW (rys. 5); 191,6 kW. Silniki elektryczne obciążone są nierównomiernie, a współczynniki rozdziału mocy charakteryzujące tę nierównomierność w kolejnych odcinkach czasowych przedstawiono w tabelicy 1. Najbardziej obciążony jest silnik 2, którego współczynnik rozdziału mocy przyjmuje średnie wartości od 0,444 do 0,5673. Znaczy to, że ponad połowę całkowitych oporów ruchu pokonuje tylko jeden silnik, chociaż zainstalowane są aż cztery.

Oscylogram rejestracji drgań poboru mocy przez silniki asynchroniczne, dla jeszcze innego stanu załadowania przenośnika ścianowego nosiwem (rys. 2c) przedstawiono na rys. 6 i rys. 7.

Częstości drgań poboru mocy wynoszą odpowiednio:

- silnik 1: 3,83; 5,61; 9,81; 15,70; 24,15 rad s^{-1} ,
- silnik 2: 4,83; 9,81; 15,70; 26,17 rad s^{-1} ,
- silnik 3: nie wykazuje drgań
- silnik 4: 3,61; 4,83; 5,61; 24,15; 31,40 rad s^{-1} .

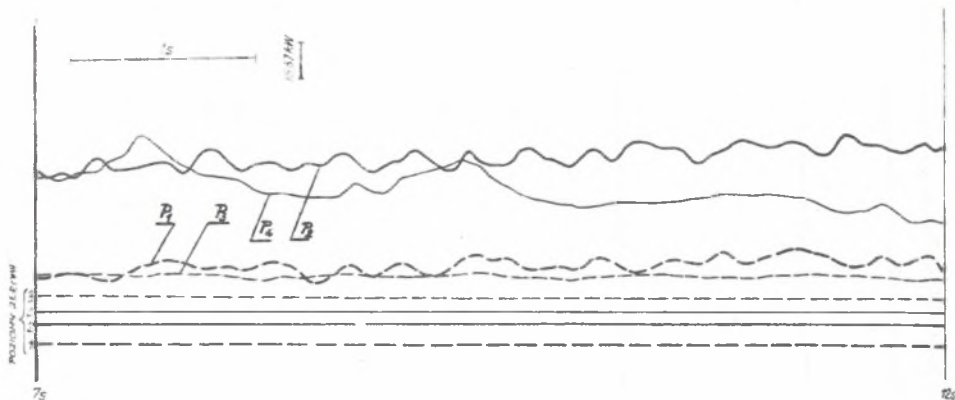
W tej realizacji pomiarów największą amplitudę drgań poboru mocy wykazuje również silnik 4, która wynosi 38,9 kW. Najbardziej obciążony jest silnik 2, a rozdział obciążenia na poszczególne silniki jest jeszcze bardziej nierównomierny (tabelica 2).

Tablica 1

| Czas | (6,1 - 11,1)s | (11,11 - 16,1)s | (16,11 - 21,1)s | (21,11 - 26,1)s | (26,11 - 31,1)s |
|----------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| u ₁ | 0,2182 | 0,2533 | 0,2656 | 0,2766 | 0,2947 |
| u ₂ | 0,4440 | 0,4975 | 0,5152 | 0,5389 | 0,5673 |
| u ₃ | 0,2888 | 0,2046 | 0,1774 | 0,1474 | 0,1074 |
| u ₄ | 0,0490 | 0,0446 | 0,0418 | 0,0371 | 0,0306 |

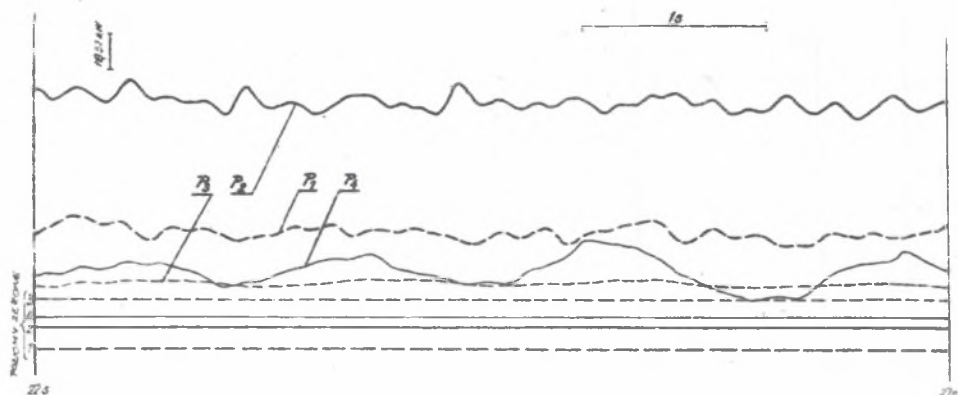
Tablica 2

| Czas | (7,1 - 12)s | (12,01 - 17)s | (17,01 - 22)s | (22,01 - 27)s | (27,01 - 32)s |
|----------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| u ₁ | 0,2039 | 0,2426 | 0,2672 | 0,2884 | 0,2976 |
| u ₂ | 0,4720 | 0,4886 | 0,5216 | 0,5589 | 0,5891 |
| u ₃ | 0,3155 | 0,2179 | 0,1666 | 0,1143 | 0,0836 |
| u ₄ | 0,0536 | 0,0509 | 0,0446 | 0,0384 | 0,0307 |



Rys. 6. Przebiegi poboru mocy przez silniki, dla obciążenia przenośnika urobkiem jak na rys. 2c

Fig. 6. Power consumption by the motors of the face conveyor which is loaded as shown in fig. 2c

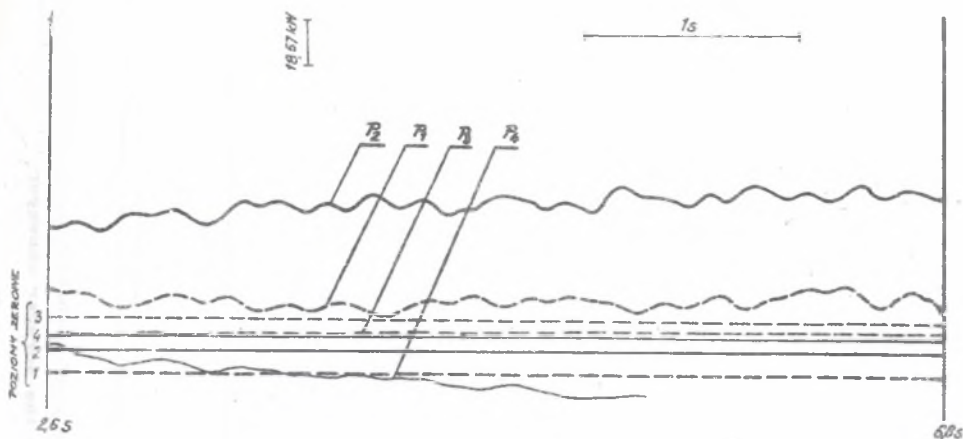


Rys. 7. Przebiegi poboru mocy przez silniki, dla obciążenia przenośnika urobkiem jak na rys. 2c

Fig. 7. Power consumption by the motors of the face conveyor which is loaded as shown in fig. 2c

Oscylogram drgań poboru mocy przez silniki asynchroniczne w przypadku przenośnika niezaladowanego urobkiem przedstawiono na rys. 8. Współczynniki rozdziału mocy poszczególnych silników asynchronicznych wynoszą: $u_1 = 0,5127$; $u_2 = 1,0413$; $u_3 = -0,0892$; $u_4 = -0,4648$ zaś sumaryczny pobór mocy 61 kW.

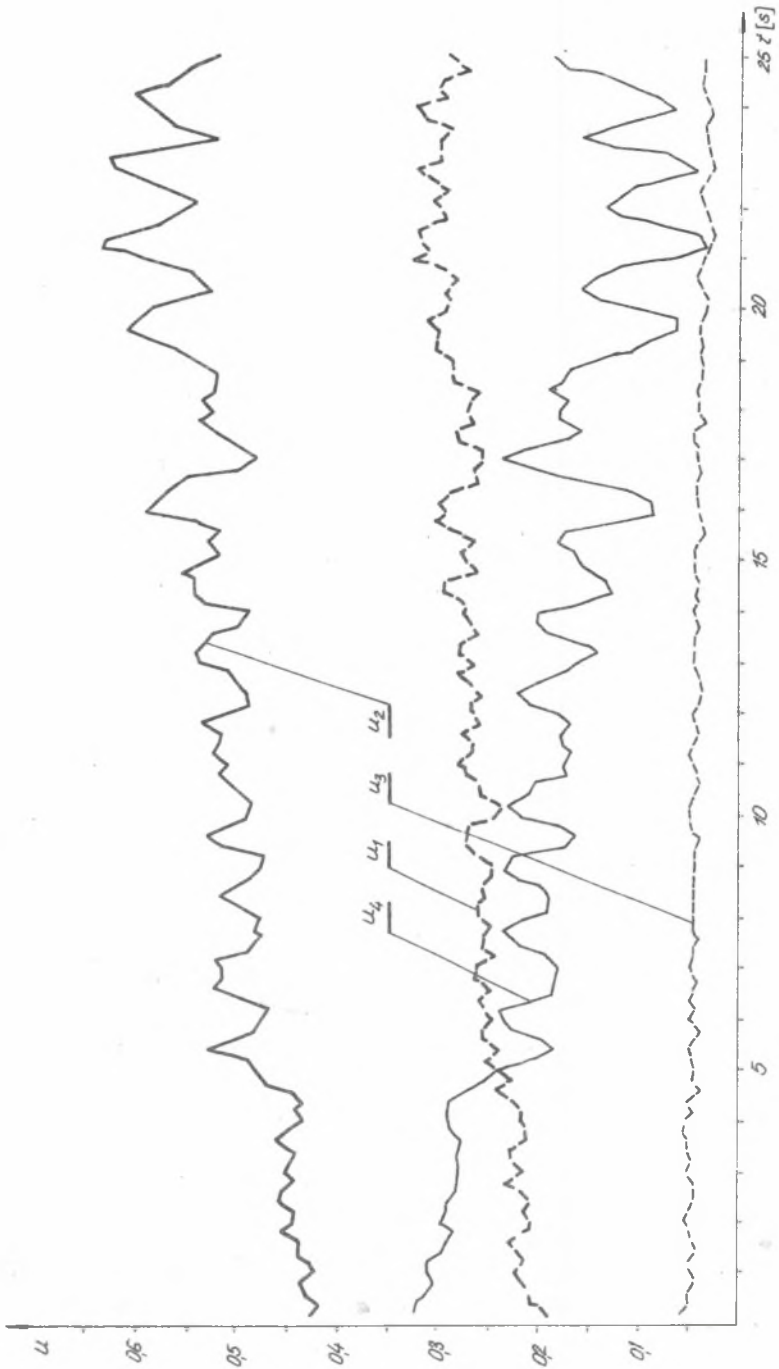
Na oscylogramie tym zaobserwowano zjawisko pracy generatorowej obydwu silników asynchronicznych zainstalowanych w napędzie wysypowym.



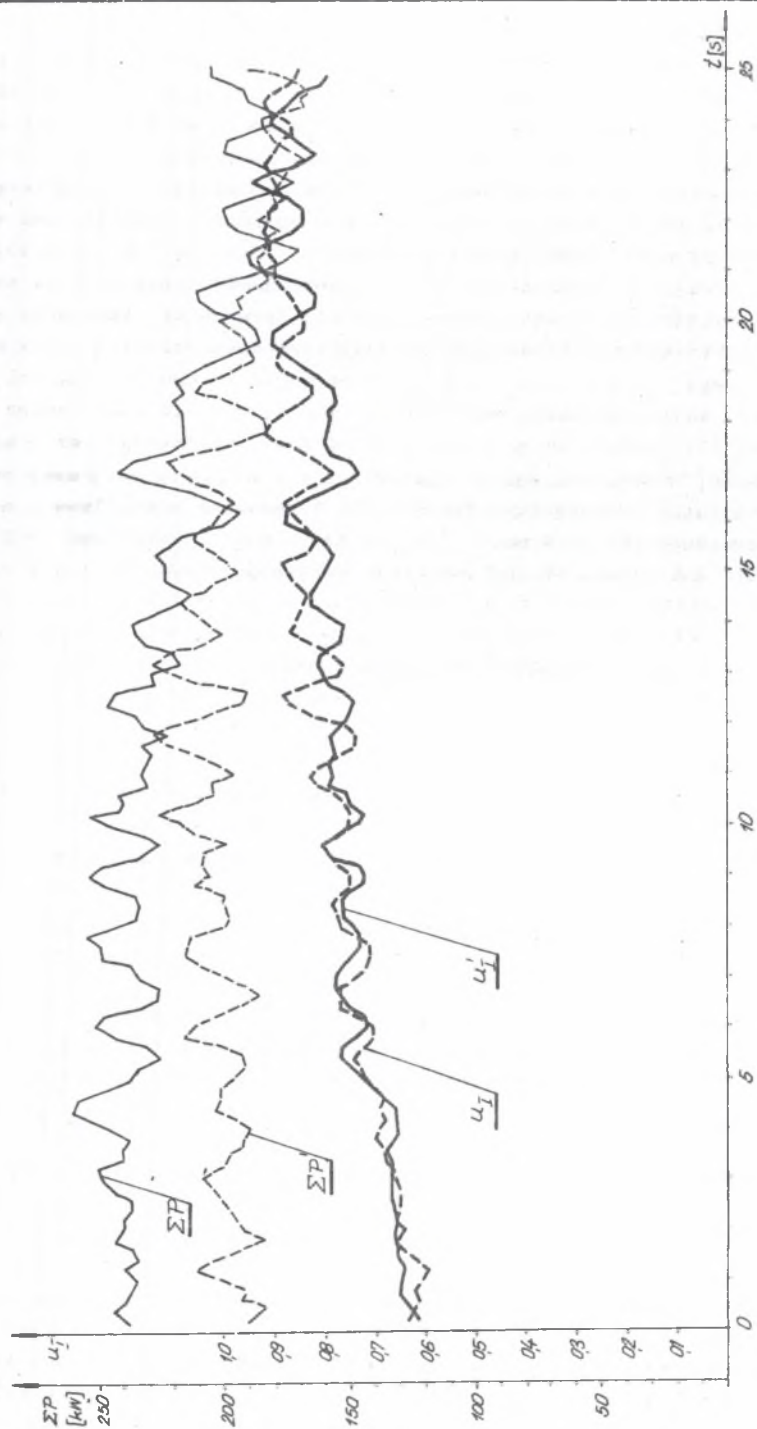
Rys. 8. Generatorowa praca silników napędu wysypowego przy przenośniku niezaladowanym

Fig. 8. Generator duty of electric motors of main drive in unloaded face conveyor

Praca generatorowa silników elektrycznych w przenośniku zgrzeblowym ma miejsce wtedy, gdy silniki te napędzane są poprzez łańcuch zgrzeblowy do prędkości nadsynchronicznej. Moment obrotowy tych silników ma wówczas wartość ujemną i bęben łańcuchowy przekazuje na łańcuch zgrzeblowy siłę uciążu o zwrocie przeciwnym do zwrotu prędkości łańcucha. Zjawisko to wymaga konieczności pokonania tego dodatkowego obciążenia przez pozostałe silniki, które rozwijają moc większą od wymaganej do pokonania oporów ruchu. Współczynniki rozdziału mocy silników pracujących w zakresie generatorowym mają wartość ujemną ($u < 0$), a pozostałych silników mogą przyjmować wartości większe od jedności ($u > 1$). Przyczyną tego niekorzystnego zjawiska jest zróżnicowanie prędkości obrotowych bębnow łańcuchowych spowodowane z jednej strony zróżnicowaniem rozkładu podziałek ogni wzdłuż konturu łańcuchowego, a z drugiej strony różnicami przyłożeń reduktorów w napędach prostopadłych i równoległych. W skrajnych przypadkach (duże różnice podziałek ogni odcinków współdziałających z bębnami łańcuchowymi, stosowanie napędów równoległych i prostopadłych, zróżnicowanie rzeczywistych charakterystyk mechanicznych silników przy zastosowanych sprzęgłach podatnych) może dochodzić do przeciążenia jednego z silników nawet przy małej mocy sumarycznej wszystkich silników potrzebnej do pokonania oporów ruchu przenośnika niezaladowanego.



Rys. 9. Zmiany współczynników rozdziału mocy silników
 Fig. 9. Power distribution factors curves in the scraper conveyor



Rys. 10. Powtarzalność zmian współczynników rozdzielenia mocy napędu swrotnego dla tych samych fragmentów w dwóch kolejnych obiegach łańcucha

Fig. 10. Repeatability of power distribution factors of auxiliary drive for the same fragments of first and second circle of chain

Zróznicowanie charakterystyk silników elektrycznych wywołuje stałą nierównomierność rozdziału mocy, natomiast zróznicowanie podziałek ogniw wzdłuż konturu łańcucha zgrzebiłowego jest przyczyną okresowych drgań rozdziału mocy o częstotliwości konturowej powtarzających się po każdym obiegu łańcucha. Na rys. 9 przedstawiono zmiany współczynników rozdziału mocy w 25 sekundowym fragmencie ruchu przenośnika obciążonego urobkiem. Zaobserwować można istotne zróznicowanie współczynników rozdziału mocy (od 0,05 do 0,60) świadczące o dużej nierównomierności mocy rozwijanej przez silniki napędowe, a prowadzące do okresowego przeciążania jednych silników przy niedociążeniu pozostałych. Przebieg zmian współczynnika rozdziału mocy napędu pomocniczego $u_I = u_1 + u_2$ dla tego fragmentu obiegu jest niemal identyczny jak w kolejnym obiegu łańcucha $u'_I = u'_1 + u'_2$ dla tego samego odcinka (rys. 10), wskazując na powtarzalność zmian rozdziału mocy w kolejnych obiegach, pomimo odmiennego charakteru zmian sumarycznej mocy pobieranej przez silniki przenośnika. Średnia moc sumaryczna w analizowanym fragmencie pierwszego obiegu wynosi $\sum P_{\delta r} = 219,6$ kW, a drugiego $\sum P'_{\delta r} = 195,6$ kW, zaś współczynniki rozdziału mocy napędu zmieniają się w zakresach:

$$0,616 \leq u_I \leq 0,945 \quad u_{I\delta r} = 0,776$$

$$0,592 \leq u'_I \leq 0,912 \quad u'_{I\delta r} = 0,792$$

W przedstawionym przypadku silniki napędu zwrotnego pracują z obciążeniem nominalnym, przy sumarycznej mocy pobieranej przez wszystkie silniki mniejszej od połowy nominalnie zainstalowanej w przenośniku mocy.

4. PODSUMOWANIE

W budowie przenośników zgrzebiłowych nadal utrzymuje się - popierana żądaniami użytkowników - tendencja do zwiększania zainstalowanej mocy silników napędowych. Równocześnie obserwuje się zjawisko bardzo nierównomiernego wykorzystania możliwości napędów i to nie tylko z powodu zróznicowanego stopnia załadowania przenośnika urobkiem, ale również ze względu na nierównomierny rozdział obciążenia na poszczególne zespoły napędowe. Nasilenie się tego niekorzystnego zjawiska, spotęgowanego zmianami dokonywanymi w przenośnikach zgrzebiłowych przez użytkowników próbujących na własną rękę zmniejszać niedomagania konstrukcji fabrycznej, prowadzi w ruchu ustalonym przenośnika do trwałego lub okresowego przeciążania jednych zespołów napędowych przy niedociążeniu pozostałych. Kłopoty z eksploatacją sprzęgieł hydrokinetycznych w trudnych warunkach dołowych skłaniają użytkowników przenośników zgrzebiłowych do stosowania w ich miejsce sprzęgieł podatnych. Nie zawsze uświadamianą konsekwencją takiego postępowania jak szereg różnorodnych, najczęściej niekorzystnych zjawisk.

Usztywnienie wyjściowych charakterystyk zespołów napędowych czyni układ bardziej wrażliwy na wiele czynników. Obok zróżnicowania podziałek ogni w odcinków współdziałających z bębniami łańcuchowymi, różnic rzeczywistych charakterystyk silników elektrycznych, również różnice przełożeń reduktorów ujawniają tu swój niekorzystny wpływ na rozdział mocy.

Rejestracja mocy podczas pełnego obiegu łańcucha w przenośniku nieobciążonym udowodniła realność pracy silników w zakresie generatorowym i to zarówno silników napędu głównego jak i pomocniczego.

Zjawisko to wywołane jest współdziałaniem bębniów łańcuchowych z łańcuchami o zróżnicowanych podziałkach ogni. Występuje ono łatwiej w przenośnikach niezaladowanych aniżeli obciążonych urobkiem, co wynika z położenia punktu pracy silnika na jego charakterystyce blisko prędkości synchronicznej.

Najniższą częstotścią drgań w przenośnikach zgrzebiowych jest częstota konturowa drgań poboru mocy przez silniki asynchroniczne. Drgania te wymuszone są zmianami prędkości kątowych bębniów łańcuchowych współdziałających z odcinkami łańcuchów o różnych podziałkach ogni. W mierzonym przenośniku zgrzebiowym częstota konturowa drgań mocy wynosiła $0,013 \text{ rad s}^{-1}$. Należy wdrożyć w trybie pilnym w kopalniach odpowiedni system gospodarki łańcuchami zgrzebiowymi, który uniemożliwi łączenie w jednym przenośniku odcinków łańcucha nowego i zużytego o zwiększonych podziałkach ogni oraz pozwoli na dobór łańcucha o zbliżonym stopniu zużycia w razie konieczności przedłużania trasy przenośnika.

LITERATURA

- [1] Dolipski M., Sobota P.: Drgania poboru mocy o częstotści konturowej w przenośnikach zgrzebiowych RYBNIK-80, ZN. Pol.Śl. s. Górnictwo nr 181, 1989. Międzynarodowa Konferencja: Dynamika Maszyn Górniczych DYNAMACH '89.
- [2] Dolipski M., Osadnik J., Sobota P.: Zagadnienie rozdziału mocy silników napędowych w ścianowych przenośnikach zgrzebiowych, ZN. Pol.Śl. s. Górnictwo nr 130, 1985.
- [3] Sobota P.: Badania eksploatacyjne rozdziału mocy w wielosilnikowych układach pociągowych z łańcuchem o konturze zamkniętym ZN. Pol.Śl. s. Górnictwo nr 154, 1987.

Recenzent: Prof. dr inż. Zbigniew Korecki

Wpłynęło do Redakcji w styczniu 1990

ПРСТЕКАНИЕ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ
ДВИГАТЕЛЕЙ ОЧИСТНОГО СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА

Р е з ю м е

Знание стоимости и протекания мощности развиваемой электродвигателями отдельных приводных составов необходимо при ведении анализа явлений проходящих в скребковых конвейерах. В статье представлены результаты измерений потребляемой электрической мощности двигателями очистного конвейера в условиях разных нагрузок этого конвейера. Представлены примерные осциллограммы потребляемой мощности в том тоже случай генераторной работы двигателей конвейера. Сделана аннализ распределения мощности на отдельные составы.

CURVES OF ELECTRIC POWER CONSUMPTION BY THE MOTORS
OF THE FACE SCRAPER CONVEYOR

S u m m a r y

Information about value and character of power consumption by electric motors of a face scraper conveyor is indispensable for an analysis of dynamic phenomena occuring in mine scraper conveyors. The results of measurements of electric power consumption by the motors for different versions of loading the scraper conveyor are presented in the paper. Exemplary oscillograms of power consumption, among them with generator duty of asynchronous motors are shown. The measurement enabled designation of power distribution in electric motors and evaluation of changes made in drives of the face scraper conveyor.