

*Jerzy Szymański**

PRZENOŚNIKI WĘGLOWE O REGULOWANEJ PRĘDKOŚCI TAŚMY. ASPEKTY TECHNICZNE I EKONOMICZNE

1. Ciąg węglowy z przenośnikami o regulowanej prędkości taśmy

Wiele kopalń stosuje jeszcze silniki pierścieniowe średniego napięcia 6 kV z rezystorami rozruchowymi, a czasami silniki klatkowe ze sprzęgłem hydrokinetycznym (Voith), które zapewniają łagodny rozruch przenośnika węglowego przy stałej prędkości taśmy.

Przenośniki bez regulacji prędkości taśmy są głównie wykorzystywane do transportu nadkładu i pracują zwykle przy maksymalnym obciążeniu. Przenośniki nadkładowe nie są przedmiotem analizy tego opracowania.

W referacie przeprowadzono studium rzeczywistego zespołu węglowych przenośników o regulowanej prędkości taśmy oddanego do eksploatacji w KWB „Konin” z początkiem 2006 roku na nowej odkrywce Drzewce. Ciąg węglowy zawiera 7 przenośników taśmowych o różnych długościach od ok. 200 do ok. 2000 m, poziomych lub wznoszących. W analizowanym ciągu węglowym stacje napędowe poszczególnych przenośników wyposażone są w energooszczędne silniki klatkowe o mocy 315 kW/742 obr/min i przemienniki częstotliwości dla każdego silnika. Przemienniki częstotliwości zasilane są z sieci IT 3 × 500 V.

Cyfrowe sterowane silników asynchronicznych realizowane z zastosowaniem napięciowych przemienników częstotliwości jest już często stosowane w napędach maszyn urabiających górnictwa węgla brunatnego [1]. Specyfiką zastosowań w napędach górniczych przemienników częstotliwości jest ich zasilanie z niskonapięciowej sieci izolowanej IT. W napędach dużych mocy powstają tu zjawiska nie obserwowane w sieciach typu TN [2]. Ich właściwe rozpoznanie warunkuje bezawaryjną pracę układów napędowych.

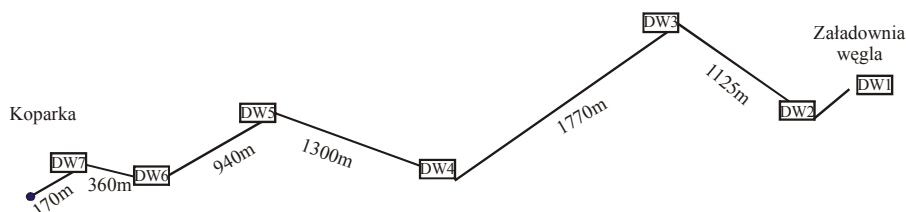
* Instytut Systemów Transportowych i Elektrotechniki; CEIA ELPOL, Politechnika Radomska, Radom

Przy stosowaniu przemienników częstotliwości z energooszczędnymi niskoobrotowymi silnikami klatkowymi w stacjach napędowych przenośników pracujących w ciągu węglowym ważnymi problemami napędowymi są:

- uzyskanie dużego momentu rozruchowego silników w chwili startu obciążonego przenośnika,
- wyrównanie obciążeń poszczególnych silników w czasie rozruchu i pracy ustalonej przenośnika,
- utrzymywanie prędkości przenośnika zgodnie z wartością zadaną — referencją (bez nadmiernych przeregulowań),
- ograniczenie wzajemnego oddziaływania doziemnych prądów pasożytniczych przemienników częstotliwości w stacji napędowej przenośnika.

Wymienione problemy napędowe wpływające na budowę stacji napędowej przenośnika z regulowaną prędkością taśmy będą przedmiotem analizy w dalszej części referatu.

Odkrywka Drzewce, gdzie zastosowano przenośniki o regulowanej prędkości taśmy ma ciąg węglowy o długości ok. 5,9 km (rys. 1).



Rys. 1. Schemat technologiczny przenośników z regulowaną prędkością taśmy O/Drzewce w KWB „Konin”

Kopalnia „Konin” eksploatuje także 3 inne odkrywki z przenośnikami o nieregulowanej prędkości taśmy ($v_p = 5,24$ m/s) z silnikami pierścieniowymi 320 kW/6 kV, o całkowitej długościach przenośników węglowych rzędu 20 km i przenośników nadkładowych rzędu 35 km.

Energochłonność ciągu węglowego odkrywki Drzewce, pracującego ze zmniejszoną prędkością taśm wszystkich przenośników do wartości $2,5 \div 3$ m/s, jest prawie o 50% mniejsza od energochłonności przenośników pracujących ze stałą prędkością 5,24 m/s w pozostałych odkrywkach [3].

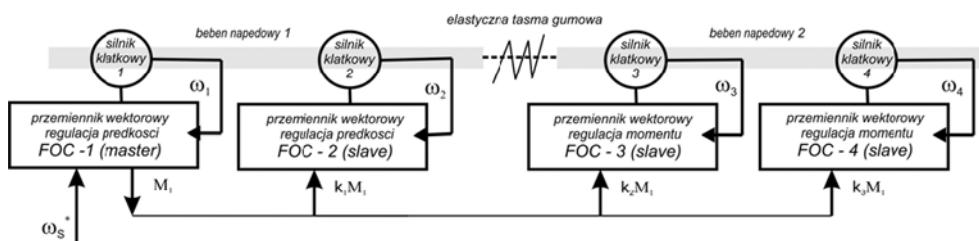
Zagadnienia kosztów budowy i eksploatacji stacji napędowych przenośników o regulowanej prędkości taśmy będą przedmiotem analizy w dalszej części referatu.

2. Stacja napędowa przenośnika z regulowaną prędkością taśmy.

Aspekty techniczne

Synchronizację pracy zespołu wielosilnikowego, tutaj 2–4 silniki, uzyskuje się poprzez stosowanie konfiguracji typu *master-slave* przemienników częstotliwości. Przemiennik czę-

stotliwości pełniący funkcję master jest sterowany żadaną prędkością przenośnika w przeliczeniu na prędkość wału silnika ω_s^* , natomiast przemienniki częstotliwości pełniące funkcję *slave* są sterowane momentem napędowym M_1 silnika *master* (rys. 2) [3].



Rys. 2. Zasada sterowania dwubębnowym napędem czołowym przenośnika z regulowaną prędkością taśmy: ω_s — zadana wartość prędkości kątowej silnika 1, M_1 — moment obciążenia silnika 1, k_i ($i = 1, 2, 3$) współczynniki korekcji zadanego momentu obciążenia M_1 dla silników *slave* 2, 3, 4 [FOC — ang. *Field Oriented Control* — rodzaj przemiennika częstotliwości sterowanego wektorem pola silnika]

W takim układzie następuje samowyrównywanie się obciążeń poszczególnych silników w obydwu bębnach napędowych. Prędkości poszczególnych silników mogą być różne i automatycznie dopasowujące się do różnych prędkości poszczególnych bębnów napędowych oraz niejednakowych charakterystyk mechanicznych silników i przekładni.

Uzyskanie momentu rozruchowego silników o wartościach rzędu $2,2 M_n$ ma duże znaczenie dla prawidłowego rozruchu obciążonego przenośnika taśmowego. Uzyskanie dużego momentu rozruchowego przez silniki umożliwia minimalizowanie kosztów zastosowanych silników i przemienników częstotliwości.

Powstaje pytanie, czy uda się wytworzyć duży moment w niskoobrotowym wysokosprawnym silniku klatkowym przy nieruchomym wirniku, który jest sterowany przemiennikiem skalarnym?

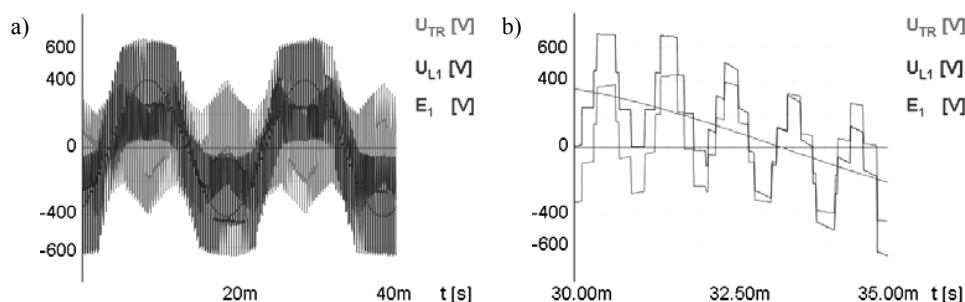
Wysokosprawne, niskoobrotowe silniki klatkowe cechują się małym poślizgiem nominalnym [np. $s_n = n_s - n_n = 750 - 742$ obr/min], dlatego trudnym problemem technicznym jest zbudowanie przemiennika skalarnego umożliwiającego, przy prądzie rzędu $220\% I_{sn}$ (I_{sn} — nominalny prąd silnika), wytworzenie w silniku dużego momentu w początkowej fazie rozruchu. Dla zbudowania dużego momentu rozruchowego przy nieruchomym wirniku silnika obecnie stosuje się przemienniki wektorowe FOC z bezpośrednim śledzeniem położenia kątowego wirnika (enkoder) [4].

Gdy wytworzenie odpowiednio dużego momentu przemiennikami skalarnymi będzie możliwe, nawet przy prądach znacznie przekraczających $220\% I_{sn}$, ale przy koszcie przemiennika skalarnego zbliżonym do kosztu przemiennika wektorowego FOC, to budowa stacji napędowych przenośników z regulowaną prędkością taśmy stanie się jeszcze bardziej uproszczona niż w chwili obecnej. Zostaną wyeliminowane enkodery z wałów silników klatkowych,

a brak sprzężenia zwrotnego między wirnikiem silnika i przemiennikiem częstotliwości wpłynie stabilizująco na pracę stacji. Nastąpi także zmniejszenie kosztów uruchomieniowych stacji, związanych korygowaniem nastaw regulatorów przemienników częstotliwości.

Kolejnym zagadnieniem jest minimalizowanie odkształceń napięć fazowych zasilania przemienników częstotliwości. Odkształcenia te mogą zwiększyć awaryjność stacji napędowych zasilanych z sieci IT (w porównaniu z powszechnie stosowanymi sieciami TN-S). Występuje tu tzw. „pływanie zera transformatora”, tj. zmiany potencjału nieuziemionego punktu neutralnego transformatora zasilającego przemienniki częstotliwości dużych mocy [4]. Zjawisko to powoduje powstawanie zwiększonej wartości skutecznej napięć fazowych zasilania przemiennika częstotliwości (rys. 3). Napięcie fazowe transformatora E_1 jest zmodulowane przebiegiem napięcia zaburzeń wspólnych U_{TR} , dlatego fazowe napięcie zasilania przemiennika częstotliwości U_{L1} jest podwyższone. U_{TR} to napięcie między potencjałem uzwojenia i punktem neutralnym nieuziemionego uzwojenia wtórnego transformatora zasilającego przemienniki częstotliwości. Zmodulowane i podwyższone napięcia fazowe (U_{L1} , U_{L2} , U_{L3}) zasilania przemiennika częstotliwości są przyczyną pojawiających się przepięć w napięciach międzyfazowych oraz powodują podwyższanie napięcia stałego na baterii kondensatorów obwodu pośredniego nieobciążonych przemienników częstotliwości [5].

Główną przyczyną odkształceń napięć fazowych zasilania przemienników częstotliwości są duże wartości doziemnych pojemności pasożytniczych obciążenia przemienników częstotliwości dużej mocy (kabel silnikowy, silnik): pojemności doziemne między uzziemionym ekranem/zbrojeniem, a przewodami fazowymi kabla silnikowego oraz pojemności doziemne pasożytnicze silnika — między uzziemionym korpusem silnika, a uzwojeniami fazowymi stojana [7].



Rys. 3. Napięcia zasilania przemiennika częstotliwości zasilanego z sieci IT: a — napięcie fazowe U_{L1} ma kształt trapezu i jego amplituda zależy od impulsów napięcia zaburzeń wspólnych; b — przebiegi z rysunku 2a w krótkim przedziale czasu — 5 ms (widoczne jest napięcie zaburzeń wspólnych, sumujące się z napięciem transformatora zasilającego przemiennik częstotliwości); U_{TR} — napięcie punktu neutralnego transformatora przesunięte względem ziemi o napięcie zaburzeń wspólnych V_{CM} ; U_{L1} — napięcie fazowe zasilania przemiennika częstotliwości, przy uwzględnieniu pojemności doziemnych kabla silnikowego i silnika, powodujące przepływ prądów o dużych częstotliwościach w otoczeniu napędu; E_1 — nominalne napięcie fazowe zasilania napięciowego przemiennika częstotliwości

Podstawowym działaniem ograniczającym odkształcenia fazowych napięć zasilania jest stosowanie pojemnościowych filtrów EMC dostosowanych do tłumienia napięcia zaburzeń wspólnych na zasilaniu lub w obwodzie pośrednim przemienników częstotliwości. Wbrew rozpowszechnionym nieprawdziwym poglądom, nie spowodują one zadziałania izomerów badających stan izolacji sieci zasilania typu IT [8].

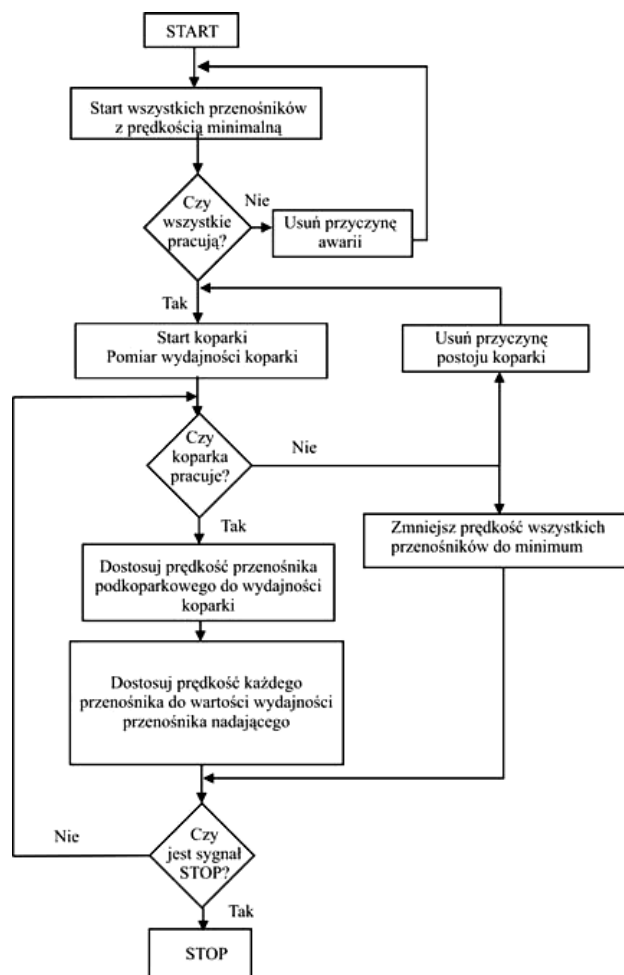
Należy włączyć dodatkowe pojemności filtracyjne między napięciami fazowymi zasilania przemiennika częstotliwości dużej mocy a uziomem tak, aby fazowe pojemności doziemne na zasilaniu przemienników częstotliwości były ok. 10 razy większe niż doziemne pojemności pasożytnicze między wyjściami mocy przemiennika częstotliwości, a uziomem.

Na czas postoju stacji napędowych przenośników z przemiennikami częstotliwości należy odłączać zasilanie od głównych obwodów mocy przemienników, co spowoduje znaczne wydłużenie pracy baterii kondensatorowej i wentylatorów chłodzenia, a są to kosztowne i najszybciej zużywające podzespoły przemienników częstotliwości.

W stacjach napędowych przenośników poziomych i wznoszących nie występuje długotrwała praca generatorowa silników, jak to ma miejsce przy przenośnikach opadających, dlatego nie ma tu potrzeby stosowania układów odzysku energii czy przemienników typu AFE (ang. *Active Front End*) [9]. Niemniej przy stosowaniu jednakowych czasów rozruchu i hamowania (np. $t_r = t_h = 1$ min.) oraz jednakowych przyspieszeń i opóźnień przy zmianach prędkości, dla wszystkich przenośników ciągu węglowego należy przemienniki częstotliwości wyposażyć w rezystorowe układy rozpraszania energii (ang. *chopper*). W czasie zatrzymywania przenośników oraz w stanach przejściowych może wystąpić krótkotrwała praca generatorowa jednego lub więcej silników stacji napędowej przenośnika. Brak możliwości rozproszenia nadmiarowej energii z obwodu pośredniego przemiennika powodowałby jego awaryjne wyłączenie, a tym samym zatrzymanie całego ciągu węglowego. Przykładowy algorytm sterowania przenośnikami w ciągu węglowym przedstawia rysunek 4. Prędkość całego ciągu uzależniona jest od wydajności nadawy (koparka węglowa). Przy krótkotrwałych przerwach w pracy koparki ciąg węglowy ma minimalną prędkość 2 m/s. W transporcie węgla brunatnego masa przemieszczanych części ruchomych przenośnika (taśma, rolki, bębny i inne) ma podstawowe znaczenie na zużycie energii elektrycznej, dlatego praca jałowa przenośników powinna być ograniczona do niezbędnego minimum.

Koniecznym jest także stosowanie osłon przenośników chroniących węgiel przed zamoczeniem. Transport mokrego węgla lub nadkładu także znacząco zwiększa koszt transportu tych mediów.

W Polsce należy dokonać gruntownego przeglądu środków technicznych i technik transportowania węgla brunatnego, gdyż obecny poziom jego wydobycia (ok. 62 miliony ton/rok) jest szacowany do roku 2025 lub nawet do roku 2050 [10]. Biorąc pod uwagę ustalenia w zakresie ochrony klimatu na lata 2012–2020 należy liczyć się w najbliższym czasie ze skokowym wzrostem cen energii elektrycznej i dodatkowymi ograniczeniami wynikającymi z konieczności dużego zmniejszenia emisji CO₂ we wszystkich obszarach działalności przemysłowej.



Rys. 4. Algorytm sterowania prędkością taśmy przenośników w ciągu węglowym zależnie od wydajności koparki.

3. Aspekty ekonomiczne budowy i eksploatacji ciągu przenośników z regulowaną prędkością taśmy

Koszt energii elektrycznej zużywanej na procesy transportowe decyduje w dużym stopniu o bieżących kosztach eksploatacji kopalni. Koszty transportu węgla są zwykle znacznie mniejsze od kosztów transportu nadkładu. W tabeli 1 przedstawiono energochłonność ciągów węglowych i nadkładowych w eksploatowanych odkrywkach KWB „Konin” w miesiącu marcu 2008. Zakładając zbliżone dane w pozostałych miesiącach roku można przyjąć, że na transport nadkładu zużywa się średnio 6,9 razy więcej energii niż na transport węgla.

Przenośniki nadkładowe są zwykle eksploatowane w warunkach pełnego obciążenia i tutaj oszczędności energii należy szukać w minimalizowaniu drogi transportowej i właściwym logistycznym zaplanowaniu rozmieszczenia nadkładu [11].

Z tabeli 1 można oszacować zużycie energii przez przenośniki węglowe i uzyskać dane o zdolności zaoszczędzenia energii przy transportowaniu węgla przenośnikami o regulowanej prędkości taśmy w zakresie 1,5÷6,00 m/s.

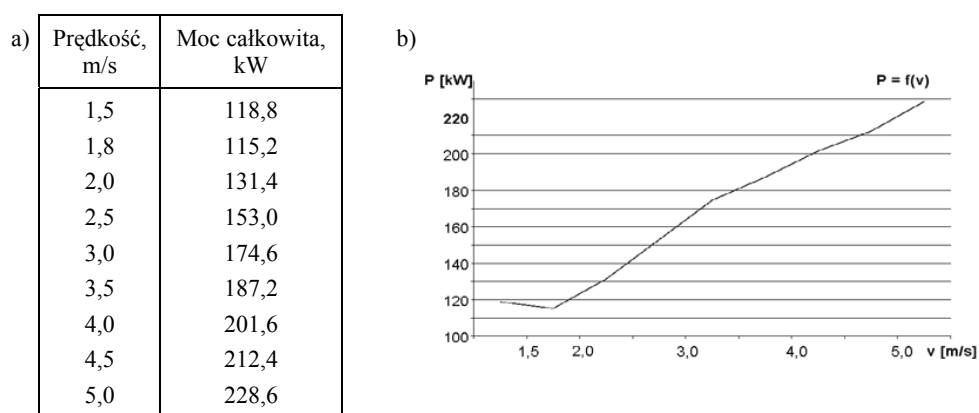
TABELA 1

Energochłonność ciągów węglowych KWB „Konin” w miesiącu marcu 2008 roku (bez maszyn podstawowych)

Odkrywka	Długość ciągu	Zużycie energii za miesiąc kWh	Wydobycie za miesiąc	Wskaźnik energochłonności
	km		nadkład, m ³ węgiel, t	kWh/m ³ km kWh/tkm
Odkrywka „Kazimierz” przenośniki węglowe o stałej prędkości taśmy 5,24 m/s	KTZ II	2 469 570	835 092	0,457
	8,469			
	węgiel	431 911	222 506	0,463
Odkrywka „Józwin” przenośniki węglowe o stałej prędkości taśmy 5,24 m/s	KTZ I	4 202 872	1 429 030	0,318
	8,575			
	KTZ II	2 688 720	941 546	0,525
	5,435			
	KTZ III	2 307 324	822 632	0,646
	4,345			
węgiel	1 70 1252	303 682	0,594	
9,435				
Odkrywka „Lubstów” przenośniki węglowe o stałej prędkości taśmy 5,24 m/s	KTZ II	1 377 336	445 732	1,091
	2,833			
	węgiel	221 904	123 316	0,442
Odkrywka „Drzewce” przenośniki węglowe o regulowanej prędkości taśmy 1,5 m/s – 6,00 m/s	KTZ I	2 399 653	1 129 283	0,923
	2,302			
	węgiel	187 196	125 280	0,261
	5,716			

Średnie zużycie energii na transport węgla w odkrywkach z przenośnikami węglowymi o nieregulowanej prędkości taśmy w ciągu węglowym wynosi 0,5 kWh/tkm, natomiast w odkrywce z przenośnikami węglowymi o regulowanej prędkości taśmy wynosi 0,26 kWh/tkm, tj. prawie o 50% mniej.

Należy tu wnioskować, że wydajność koparki odkrywki Drzewce była bardzo mała i ciąg węglowy pracował przy minimalnych dozwolonych prędkościach. Przebieg zużycia energii dla różnych prędkości przenośnika i przy stałej wydajności koparki przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Zużycie energii przez przemiennikowy przenośnik węglowy o regulowanej prędkości taśmy. Napęd taśmy posiada dwa przemienniki i dwa silniki SXh55H8Es o mocach 315 kW. Przenośnik węglowy ma długość 200 m, wysokość podnoszenia 18 m. W czasie pomiarów $P = f(v)$ koparka Rs 400 utrzymywała stałą wydajność, którą na podstawie czasu załadunku składów wyliczono na 833 t/h; a — dane w ujęciu tabelarycznym; b — wykres poboru mocy przez przenośnik węglowy w funkcji prędkości

Ze zmierzonego poboru mocy czynnej przenośnika węglowego (rys. 5) można wyznaczyć straty biegu jałowego i zapotrzebowanie na moc do transportu węgla. W analizowanym przypadku przenośnik pobiera ok. 50 kW na pokrycie potrzeb własnych, tj. przesuwu taśmy i napędu części wirujących oraz ok. 70 kW na przetransportowanie węgla (833 t/h). Trzykrotny wzrost prędkości taśmy przenośnika przy stałej wydajności koparki powoduje trzykrotne zwiększenie strat własnych przenośnika. Zakładając zwiększenie prędkości taśmy od wartości 1,5 m/s do wartości 4,5 m/s uzyskujemy: $P = 3 \times 50 \text{ kW} + 70 \text{ kW} = 220 \text{ kW}$.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że tę samą ilość węgla (833 t/h) transportujemy zużywając 100% więcej energii niż rzeczywiste zapotrzebowanie, z powodu konieczności pracy przenośnika węglowego ze stałą prędkością 5,24 m/s.

Koszt energii elektrycznej to najważniejszy składnik kosztów eksploatacji przenośnika węglowego, regulacja prędkości zasadniczo ten koszt redukuje, inne składniki kosztów wy-

nikające z mniejszego zużycia części mechanicznych przenośnika dodatkowo ten skutek wzmacniają.

Warto przeanalizować koszty wybudowania (inwestycyjne) stacji napędowej przenośnika węglowego o rozwiązaniu tradycyjnym (z silnikami pierścieniowymi 6 kV) i rozwiązaniu nowym z zastosowaniem niskonapięciowych przemienników częstotliwości i niskonapięciowych wysokosprawnych silników klatkowych. Korzystnie jest założyć, że stacje są budowane jako uniwersalne, z 4 silnikami napędowymi, z możliwością wykorzystywania w napędzie przenośników nadkładowych. W przybliżonej analizie kosztów inwestycyjnych uwzględniono jedynie koszty podzespołów elektrycznych stacji napędowych.

Zestawienie kosztów budowy stacji napędowej przenośnika węglowego (wg cen w roku 2007) [wycena własna autora]:

- przenośnik ze stałą prędkością taśmy: koszt kontenera stacji elektroenergetycznej do zasilania silników pierścieniowych ($4 \times 320 \text{ kW}/6 \text{ kV}$ — bez silników, silniki pozyskane z zasobów własnych) — 1200 tys. PLN (300 tys. EUR);
- przenośnik z regulowaną prędkością taśmy: koszt kontenera stacji elektroenergetycznej do zasilania silników klatkowych wraz z silnikami klatkowymi i napięciowymi przemiennikami częstotliwości — NPC ($4 \times 315 \text{ kW}/500 \text{ V} + 4 \times \text{NPC}$) — 1 500 tys. PLN (375 tys. EUR).

Koszty budowy stacji napędowych obydwu rodzajów są zbliżone. Jeśli uwzględni się zakup nowych silników pierścieniowych do stacji o rozwiązaniu tradycyjnym, to nawet koszt stacji z silnikami klatkowymi i napięciowymi przemiennikami częstotliwości jest o ok. 20% mniejszy.

5. Podsumowanie

Obecnie trzeba będzie przystąpić do szybkiej modernizacji napędów maszyn górniczych, ponieważ problemy klimatyczne przekładające się na konkretne decyzje polityczne i gospodarcze będą wymuszać szybkie poszukiwanie energooszczędnych technik transportowych. Argumenty ekonomistów o niepełnej amortyzacji czy technologów o dobrym stanie technicznym wykorzystywanych stacji napędowych czy silników będą mieć drugorzędne znaczenie.

Przeprowadzona analiza jednoznacznie wskazała na konieczność stosowania powierzchniowych przenośników węglowych o regulowanej prędkości taśmy. Ciąg węglowy z przenośnikami o regulowanej prędkości taśmy za pomocą niskonapięciowych przemienników częstotliwości (FOC) jest już zbudowany i eksploatowany od początku 2006 roku w KWB „Konin”, a uzyskiwane efekty nie pozostawiają wątpliwości, co do trafności zastosowanego rozwiązania (rys. 6).

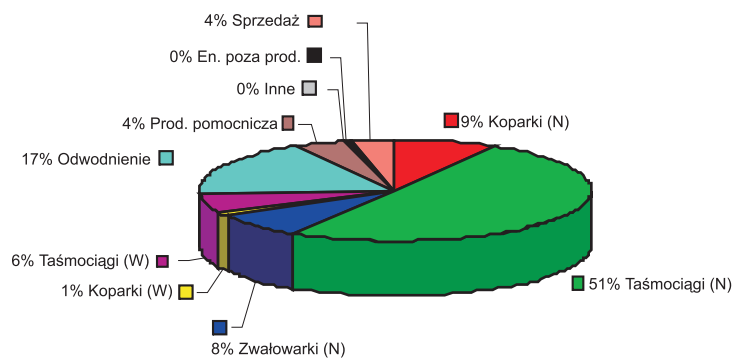
Pełna automatyzacja, monitoring i praca bezobsługowa ciągu węglowego, których wdrożenie nie jest skomplikowane i kosztowne, to dodatkowe czynniki zapewniające dalsze możliwości oszczędzania energii.



Rys. 6. Widok kontenera stacji napędowej (po lewo) przenośnika węglowego z regulowaną prędkością taśmy 1,5÷6,0 m/s w KWB „Konin”. Dwa energoelektroniczne przemienniki częstotliwości sterują dwoma silnikami klatkowymi 315 kW/500 V

Istnieje pewna ostrożność górników przed stosowaniem nowoczesnych urządzeń energoelektronicznych w górnictwie. Górnictwo odkrywkowe węgla brunatnego stawia inne, często łagodniejsze, wymagania niż górnictwo podziemne i akurat w tych zastosowaniach doświadczenie światowych producentów przemienników częstotliwości i polskich zespołów wdrożeniowych jest na tyle duże, że nie należy obawiać się zmniejszenia niezawodności ciągów węglowych z przenośnikami o regulowanej prędkości taśmy w stosunku do rozwiązań tradycyjnych.

W kopalniach, a tym samym w kraju są możliwe do uzyskania duże oszczędności energii. KWB „Konin” zużywa rocznie 350 GWh energii elektrycznej, z czego 6% zużywają węglowe przenośniki taśmowe (rys. 7).



Rys. 7. Zużycie energii KWB „Konin” z podziałem na poszczególne procesy techniczne (N — nadkład, W — węgiel)

Przy wydobyciu ok. 10 mln ton węgla rocznie w KWB „Konin”, średnie zużycie energii, to ok. 2,1 GWh/mln ton węgla.

Największą pozycję w bilansie energetycznym kopalni stanowi energia zużywana na transport nadkładu — 51%. Niemniej tu trzeba upatrywać oszczędności nie tyle w dopasowaniu prędkości taśmy przenośnika do wydajności koparki nadkładowej, ile w zapewnieniu koparki (koparek) o odpowiedniej wydajności tak, aby zapewnić nominalne obciążenie przenośnika nadkładowego w ciągu KTZ. Poszukiwanie odpowiednich rozwiązań konstrukcyjnych przenośnika nadkładowego minimalizujących jego straty własne może przynieść duże oszczędności. Te rozważania są przedmiotem innych opracowań [12–14].

Możliwość zmniejszenia zużycia energii elektrycznej wykorzystywanej do transportu węgla (50%), daje w skali kraju oszczędność o wartości ok. $62 \text{ mln} \times 2,1 \text{ GWh} = 130 \text{ GWh}$. Stanowi to prawie 0,5% rocznej produkcji największej polskiej elektrowni opalanej węglem brunatnym, elektrowni „Bełchatów”. Roczna produkcja elektrowni „Bełchatów” wynosi ok. 28 400 GWh.

Warto zauważyć, że zastosowana metoda sterowania silnikami w stacji napędowej przenośnika z regulowaną prędkością taśmy (rys. 2), nie ogranicza liczby silników pracujących z jednakowym momentem napędowym (slave) automatycznie dostosowujących swoją prędkość obrotową do potrzeb przenośnika, dlatego możliwe jest budowanie napędów pośrednich w długich przenośnikach węglowych, czy też nadkładowych.

Stosowanie pośrednich stacji napędowych w przenośnikach nadkładowych w podstawowym stopniu zmniejsza straty własne przenośników, np. poprzez stosowanie lżejszych taśm do transportu nadkładu.

Stosowanie stacji pośrednich powoduje także zmniejszenie mocy jednostkowych silników w stacjach napędowych przenośników. Tym samym można stosować silniki niskonapięciowe o mocach poniżej 1 MW.

Stacje napędowe z niskonapięciowymi przemiennikami częstotliwości są kilkukrotnie tańsze od stacji napędowych z przemiennikami częstotliwości średniego napięcia stosowanymi między innymi przez kopalnię węgla brunatnego Welzow Süd — Vattenfall — Niemcy [15].

LITERATURA

- [1] *Jabłoński H.*: Nowe napędy i układ sterowania koparką SRs-1200/3 w KWB Konin SA. Węgiel Brunatny, nr 4/61, 2007
- [2] *Szymański J.*: Zagrożenia bezpieczeństwa w instalacjach napędowych z napięciowymi przemiennikami częstotliwości w sieciach IT. Miesięcznik ElektroInfo nr 1–2, 2007
- [3] *Kasztelwicz Z., Szymański J.*: Nowa metoda sterowania napędem przenośników o regulowanej prędkości taśmy w kopalniach węgla brunatnego. Przegląd górniczy, nr1, 2008
- [4] *Szymański J.*: Operating Instructions VLT5000FLUX, Danfoss — MG.55.A5.02
- [5] *Szymański J.*: Stosowanie filtrów EMC w sieciach IT zasilających napędy z napięciowymi przemiennikami częstotliwości. Miesięcznik ElektroInfo nr 12, 2008
- [6] *Rangarajan M. Tallam1, David W. Schlegel and Frederick L. Hoadley*: Failure Mode for AC Drives on High Resistance Grounded Systems, IEEE APEC 2006, Dallas, TX March 19–23, 2006
- [7] *Adabi J., Zare F., Ledwich G., Ghosh A.*: Leakage Current and Common Mode Voltage Issues in Modern AC Drive Systems, Universities Power Engineering Conference, AUPEC 2007. Australasian, 2007

- [8] Dokumentacja techniczna przekaźnika kontroli izolacji IRDH375 firmy BENDER, 2008
- [9] ABB Switzerland Ltd, Active front end technology as applied to a downhill belt conveyor, Cement International nr 5, 2006
- [10] *Kasztelewicz Z., Kozioł W., Klich J.*: Węgiel brunatny najtańszy nośnik energii w Polsce i jego perspektywy. Górnictwo Odkrywkowe, nr 7–8, 2004 Poltegor Instytut, Wrocław
- [11] *Wartecki A.*: Procesy logistyczne kopalni odkrywkowej, Logistyka nr 2, 2003
- [12] Voith Turbo GmbH & Co. KG, System Competence for Belt Conveyor Drives, 2007
- [13] *Gładysiewicz L., Schwandke R.*: Inteligentne zawieszenie zestawów krążnikowych w przenośnikach taśmowych. Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze, nr 1, 2008
- [14] *Antoniak J.*: Wpływ odstawy urobku przenośnikami taśmowymi z węglowych ścian wysokoprodukcyjnych na zmianę modelu kopalni, nr 1, 2008
- [15] Siemens AG, Automation and Drives, Large Drives: Higher efficiency in conveyor drives SIMOVERT MV in a brown coal mine, 2002