

## ZMIANY W STEROWANIU PRZENOŚNIKAMI DAJĄCE WYMIERNE KORZYŚCI

### CHANGES IN CONVEYORS CONTROL RESULTING WITH TANGIBLE BENEFITS

Leszek Hertel, Henryk Nowacki - PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna SA,  
Oddział KWB Bełchatów, Rogowice

*W artykule przedstawiono nowe rozwiązania w transporcie urobku przenośnikami poprzez zmiany w sterowaniu przy zastosowaniu nowego algorytmu.*

**Słowa kluczowe:** sterowanie, przenośniki

*New solutions of output transportation with conveyors have been presented in the paper. The changes in conveyor steering including new algorithm application have been discussed.*

**Key words:** steering, conveyor

W miarę postępu robót górniczych w kopalni Bełchatów zwiększa się liczba i łączna długość potrzebnych przenośników taśmowych. Urobek wydobywany w odkrywce P/Szczerców transportowany jest na znaczne odległości. Maksymalna odległość, na jaką transportowany jest nadkład, wynosi około 30 km. Transport urobku do odkrywki P/Bełchatów ze względu na znaczną odległość jest kosztowny.

Aby obniżyć koszty energii, obsługi i serwisu urządzeń transportowych wprowadzane są nowe rozwiązania w branży automatyki. W celu obniżenia kosztów transportu oraz minimalizacji bezproduktywnego czasu pracy maszyn projektowane są nowe funkcje dla dyspozytorskiej służby kierowania ruchem. Dla poprawy funkcjonowania przenośników został opracowany nowy algorytm, a na jego bazie powstał nowy uniwersalny program sterowania. Program ten posiada rozbudowaną diagnostykę z filtracją alarmów, dzięki czemu obsługa jest precyzyjnie informowana o przyczynach ewentualnych awarii. Ze względu na rosnące potrzeby transportu urobku na dno wyrobiska budowane są przenośniki opadowe, które oddają energię do sieci. Hamowanie tych maszyn odbywa się zarówno za pomocą sterowanych prędkościowo hamulców elektrodynamicznych jak i mechanicznych. Obecnie Kopalnia jest na etapie budowy trzeciego ciągu łączącego dwie odkrywki, gdzie będzie zaimplementowana nowa metoda rozruchu.

Dzięki nowym algorytmom sterowania i wprowadzonym nowym funkcjom i rozwiązaniom możliwe było ograniczenie zużycia energii przy transporcie urobku, mimo wydłużających się dróg transportu wraz z postępowaniem robót górniczych.

W kopalni Bełchatów wydobywany jest węgiel brunatny w dwóch odkrywkach. Aktualnie, większość nadkładu, wydobywanego w odkrywce P/Szczerców, zwałowana jest na jej zwałowiskach. Znaczna część (około 40%) wydobytego nadkładu oraz cały węgiel wydobyty w odkrywce P/Szczerców,

transportowane są przenośnikami do odkrywki P/Bełchatów. Przenośniki w odkrywce P/Bełchatów transportują przyjęty nadkład na zwałowisko wewnętrzne, a węgiel do elektrowni Bełchatów.

Urobek wydobyty w odkrywce P/Szczerców transportowany jest na znaczne odległości. Maksymalna odległość, na jaką transportowany jest nadkład, wynosi około 30 km. Transport urobku do odkrywki P/Bełchatów, ze względu na znaczną odległość, jest kosztowny i wymaga stosowania przenośników rozdzielających strugę urobku (umożliwia współpracę przenośników o różnych parametrach technologicznych), opadowych (umożliwia transport urobku do dołu) oraz przenośników rewersyjnych (umożliwia rekonfigurację ciągów technologicznych KTZ).

W kopalni Bełchatów, od kilkunastu już lat, budowane są przenośniki bezobsługowe. Mają one rozbudowany układ kontroli i zabezpieczeń. Ich układ sterowania, oprócz realizacji zadań i funkcji sterowniczych, diagnozuje także występowanie stanów zagrożeń dla pracujących podzespołów przenośnika.

Układ sterowania na tych przenośnikach oparty jest na sterowniku SIMATIC S7-400, posiadającym wejścia i wyjścia oddalone. Komunikacja sterownika głównego z wyspami rozproszonymi i panelem operatorskim realizowana jest w ringu światłowodowym sieci Profibus. Sterownik, na podstawie informacji otrzymywanych z czujników, krańcówek i styków pomocniczych aparatury łączeniowej, kontroluje sprawność aparatury i podzespołów oraz poprawność wykonywania funkcji sterowniczych. Na podstawie uzyskanych informacji generuje komunikaty informacyjne i awaryjne.

Pracę przenośników bezobsługowych sterują zdalnie dyspozytorzy Centrum Kierowania Ruchem (CKR). Informacje o stanie pracy i występujących zagrożeniach ze wszystkich obiektów Kopalni dostarcza im System Wydobywczy. Otrzy-

mane informacje na bieżąco wizualizowane są na tablicy synoptycznej oraz na stanowiskach dyspozytorskich. Oprócz zakładek informacyjnych stanowiska dyspozytorskie posiadają pulpit sterowniczy, na którym dyspozytor wybiera przenośnik lub grupę przenośników. Dla wybranego przenośnika (grupy przenośników) udostępniona jest stacyjka sterownicza, na której można wybrać (wcisnąć wirtualny przycisk) odpowiedni rozkaz: start, stop, kasuj, stop ze zrzutem, wyłącz 6 kV, zabezpiecz zdalnie, ustaw/kasuj *rozruch* odwrotny, ustaw/kasuj *rozruch* grupowy, ustaw/kasuj stop *ciągu* ze zrzutem.

Pracą przenośników sterują dyspozytorzy z odległości kilkunastu kilometrów, natomiast podczas remontów bądź usuwania awarii obsługa górnicza steruje pracą przenośnika lokalnie. Na tych przenośnikach napędy pomocnicze sterowane są tylko lokalnie, przez obsługę górniczą.

Koszty transportu wydobytego urobku są znaczne i wzrosły wraz z wydłużeniem jego drogi transportowania. W kopalni Bełchatów podjęto prace nad redukcją ponoszonych kosztów. Postanowiono pełniej wykorzystać możliwości układu sterowania przenośnikiem oraz rozbudować funkcjonalnie System Wydobywczy. W tym celu wykorzystano potencjał kadry inżynierskiej Kopalni oraz doświadczenia eksploatacyjne służb obsługi i utrzymania ruchu. Opracowano nowe funkcje sterowania ciągami przenośników, a także szereg zmian w sterowaniu przenośnika, które zwiększyły pewność ruchową oraz usprawniły obsługę i prowadzenie prac serwisowych. Po opracowaniu nowej dokumentacji przenośnika, uwzględniającej wprowadzane zmiany, opracowano nowy algorytm sterowania. Wykonano program zgodnie z nowym algorytmem jako uniwersalny program wzorcowy. Programy na poszczególnych przenośnikach różnią się tylko blokami danych: wejściowych, wyjściowych i konfiguracyjnych.

### Wprowadzone nowe funkcje sterowania ciągami przenośników

1. Rozruch odwrotny umożliwia uruchamianie wybranej przez dyspozytora, grupy pustych przenośników w kolejności od koparki do zwałowarki. Przenośniki w rozruchu odwrotnym uruchamiają się krótko przed nadejściem urobku. Po upływie czasu potrzebnego na przebycie urobku przez uruchomiony przenośnik, do dalszej pracy przenośnika potrzebny jest sygnał odblokowania od pracującego przenośnika odbierającego.
2. Rozruch grupowy umożliwia uruchamianie, wybranej przez dyspozytora, grupy częściowo załadowanych przenośników w krótszym czasie. Przy niepełnym załadunku (występują mniejsze prądy rozruchowe) i przy mniejszej prędkości taśmy wystawiany jest sygnał odblokowania do przenośnika nadającego.
3. Stop ciągu ze zrzutem urobku umożliwia zatrzymywanie każdego przenośnika, z wybranej przez dyspozytora grupy pracujących przenośników, niezwłocznie po jego opróżnieniu (zejściu urobku).
4. Konfiguracja ciągu to funkcjonalność systemu SW, która umożliwia sprawdzenie gotowości przenośników do uruchomienia. Na wybranej przez dyspozytora grupie przenośników uruchamiana jest procedura automatycznego kasowania. Aktywne pozostają tylko te komunikaty blokujące uruchomienie, które nie mogą być kasowane automatycznie lub generowane są przez awarię utrzymującą

się na przenośniku. Umożliwia to wysłanie ekipy serwisowej na mający wejść do ruchu przenośnik i usunięcie awarii z wyprzedzeniem.

5. Śledzenie urobku wykorzystuje pomiary wydajności na maszynie i pierwszym „stałym” przenośniku, kontroluje i na bieżąco obrazuje rozkład urobku na pracujących przenośnikach. Dla węgla, poza masą (średnia wydajność), podawane są jego parametry - kaloryczności i zawartości popiołu, które mierzone są na koparce. Dla każdej partii urobku określone są znaczniki jej początku i końca. Po stwierdzeniu przez SW, że na przenośniku nie ma już urobku, wysyłana jest do sterownika, na przenośniku zatrzymywanym, w trybie „stop ciągu ze zrzutem urobku”, informacja „pusty przenośnik”.

### Wprowadzane zmiany w programie sterowania

Wprowadzono kilkadziesiąt różnych zmian projektowych lub programowych. Poniżej przedstawiono wybrane zmiany.

#### 1. Komunikaty awaryjne

Generowane przez sterownik komunikaty określają uszkodzenie lub nieprawidłowe działanie urządzenia. Wygenerowane komunikaty, w większości są podtrzymywane i przez cały czas, aż do ich skasowania, są wykorzystywane w programie sterowania.

Przed wysłaniem komunikatów do Systemu Wydobywczego i na panel operatorski komunikaty awaryjne poddawane są filtracji. Wysyłane są tylko komunikaty wyfiltrowane, bez komunikatów wtórnych. Prowadzona filtracja uwzględnia obecność napięć zasilających oraz kolejność generowania komunikatów.

Rodzaje komunikatów:

- informacyjne - określają stan pracy przenośnika oraz potwierdzają otrzymanie polecenia/rozkażu sterującego,
- ostrzegawcze - sygnalizują zadziałanie pierwszego progu zabezpieczenia lub informują o uszkodzeniu aparatu, np. czujnika temperatury,
- ostrzegawcze pilne - informują, że uszkodzenie lub przekroczenie pierwszego progu zabezpieczenia trwa już określony czas i że nastąpi wyłączenie przenośnika,
- wyłączające - podają przyczynę wyłączenia; wszystkie komunikaty, które mogą zatrzymać przenośnik i które zostały wygenerowane w tym samym cyklu programu,
- blokujące - podają wszystkie zapamiętane błędne działania aparatury lub awarie, które blokują uruchomienie przenośnika,
- napędów pomocniczych - określają stan pracy napędu pomocniczego oraz sprawność i stan załączenia jego podzespołów.

Komunikaty ostrzegawcze, ostrzegawcze pilne oraz blokujące uruchomienie, są pamiętane i wymagają kasowania.

#### 2. Kasowanie komunikatów awaryjnych jest możliwe dopiero po usunięciu uszkodzenia

Obsługa górnicza może kasować komunikaty miejscowo na przenośniku:

- z pulpitu operatora w pełnym zakresie (na przenośnikach hamowanych nie można kasować komunikatów z ZEL, bez zezwoleniu elektryka lub automatyka),
  - ze skrzynki lokalnej tylko awarie i komunikaty dotyczące napędu pomocniczego obsługiwanego z tej skrzynki.
- Dyspozytor zdalnie, ze stacyjki sterowniczej, może kaso-

wać większość komunikatów. Z zakresu jego kasowania wyłączone są komunikaty wymagające sprawdzenia podzespołów na przenośniku, np. zadziałanie układu kontroli stanu taśmy.

Wprowadzono tryb kasowania automatycznego, kasuje automatycznie tylko ograniczoną liczbę komunikatów, które realizuje sterownik po otrzymaniu sygnałów ostrzegawczych z przenośnika odbierającego oraz po otrzymaniu z Systemu Wydobywczego rozkazów „ustaw odwrotny” lub „konfiguracja ciągu”. W trybie automatycznym nie są kasowane komunikaty wpływające bezpośrednio na bezpieczeństwo ruchu przenośnika.

### 3. Przenośnik hamowany dynamicznie

Przenośnik opadowy, po załadowaniu na niego urobku o większej wydajności (powyżej wielkości progowej wynikającej z różnicy rzędnych i z oporów ruchu) pracuje z mocami ujemnymi. Zwrot energii do sieci jest bardzo korzystny. Niestety na tych przenośnikach występują poważne problemy z ich uruchamianiem i zatrzymaniem.

Przenośnik został wyposażony w zdublowany układ hamulców tarczowych. Każdy układ hamulcowy oddziałuje na wszystkie napędy przenośnika i jest sterowany z oddzielnego, dedykowanego sterownika hamowania.

Każdy napęd posiada zestaw styczników manewrowych średniego napięcia. Styczniki napędowe załączają na silniki napięcie 6 kV, a styczniki hamowania załączają na silniki prąd hamowania. Układ sterowania nie dopuszcza do jednoczesnego załączenia styczników napędowego i hamowania. Dla każdego napędu wielkość podawanego prądu hamowania wypracowana jest oddzielnym prostownikiem SIMOREG DC MASTER, w którym wykorzystano generator rampy, regulator obrotów i regulator prądu. Komunikacja z prostownikami odbywa się w wydzielonej sieci Profibus.

Przy uruchamianiu przenośnika prowadzony jest rozruch prędkościowo-czasowy, wszystkimi zabudowanymi napędami. Przy rozruchu prowadzonym na dwóch silnikach wystąpiły problemy z występowaniem prędkości nadsynchronicznej, gdy przenośnik był w pełni załadowany oraz działaniem zabezpieczeń przy dołączaniu napędów, gdy przenośnik był pusty.

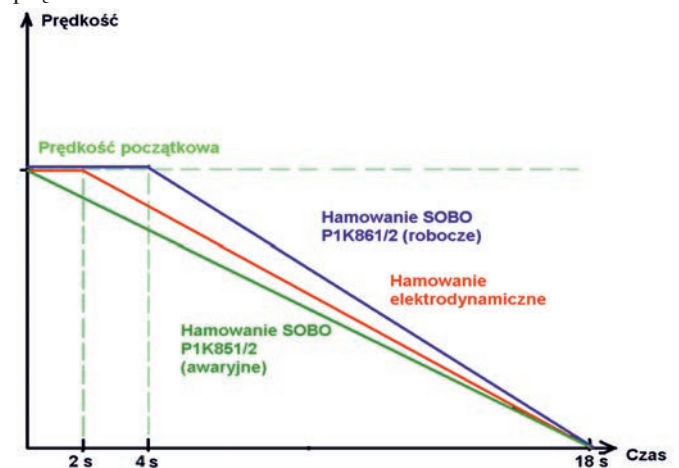
Największym problemem, jaki trzeba było rozwiązać, było występowanie na przenośniku w pełni załadowanym prędkości nadsynchronicznej, w okresie beznapędowym. Po wyłączeniu styczników napędowych zanika praca hamulcowa (prądnicowa) silników, a jednocześnie, nie można od razu załączać styczników hamowania. Spadek napięcia na uzwojeniach stojana, do poziomu bezpiecznego dla dołączanych prostowników, trwa około 2 s. W tym czasie składowa siła ciężaru urobku znacznie przewyższa siły oporu ruchu i taśma na przenośniku przyspiesza.

Przeciwdziałając skutkom powyższych zjawisk, występujących na przenośniku, wypracowano nowy algorytm sterowania hamowaniem.

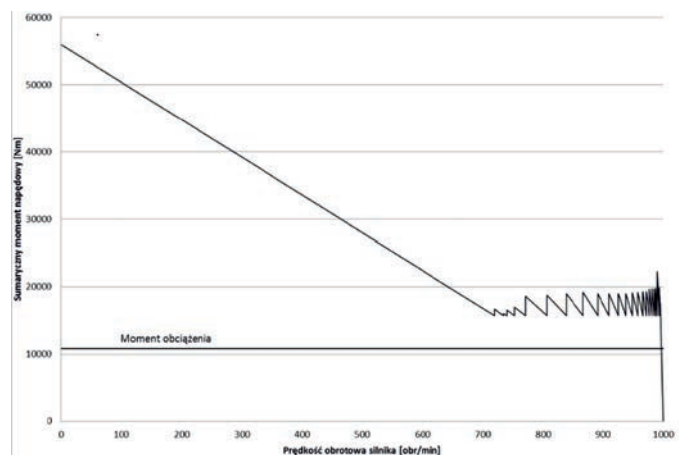
- Przy stwierdzeniu awarii w układzie hamowania dynamicznego opróżniany jest przenośnik opadowy, a po jego opróżnieniu lub wcześniej, przy wystąpieniu innej przyczyny zatrzymania, realizowane jest awaryjne zatrzymanie z hamowaniem mechanicznym.
- Przy sprawnym układzie hamowania dynamicznego, realizowane jest zatrzymanie z hamowaniem dynamicznym, podczas którego współpracują ze sobą układ hamowania mechanicznego i układ hamowania dynamicznego.

Hamowanie mechaniczne załączane jest natychmiast, z chwilą wyłączenia napędów głównych i przez okres czasu potrzebny do załączenia hamowania dynamicznego nie zezwala na rozpędzenie się taśmy. W okresie działania hamowania dynamicznego śledzi realizację założonego przebiegu spadku prędkości i w miarę potrzeby wspomaga hamowanie dynamiczne, a w okresie końcowym hamowania (poniżej 7%  $v_n$ ) przejmuje hamowanie i zatrzymuje napęd.

Hamowanie dynamiczne realizuje zatrzymanie w określonym czasie, wg krzywej generowanej w prostownikach przez ich generator rampy. Na podstawie pomiaru mocy czynnej zadawany jest wstępny prąd hamowania. Wartość prądu hamowania, na początku hamowania równa wartości prądu wstępnego, jest w trakcie hamowania korygowana. Wartość prądu hamowania zmieniają regulatory obrotów w prostownikach, na podstawie porównania pomiaru prędkości bębnowych napędowych. W przypadku stwierdzenia wystąpienia poślizgu taśmy na bębnie napędowym zmniejszany jest skokowo zadany prąd hamowania.



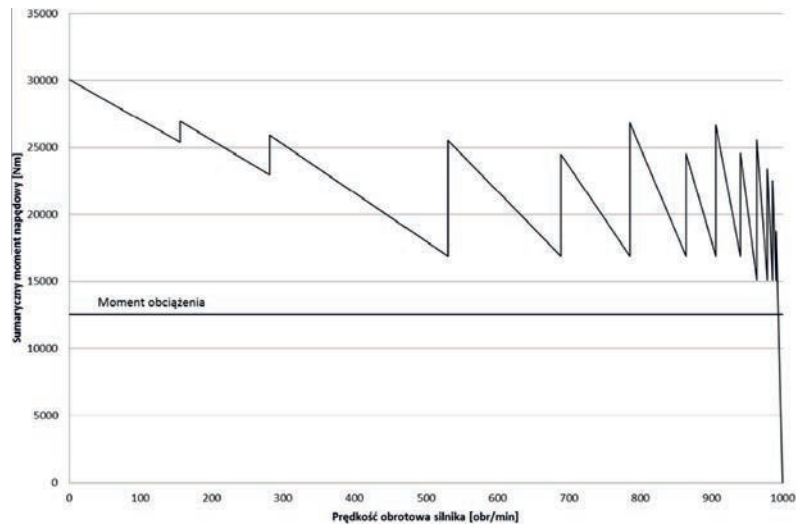
Rys. 1. Wykres czasowy programu hamowania przenośnika opadowego



Rys. 2. Wyliczony przebieg momentu podczas dotychczasowego rozruchu

### 4. Rozruch przenośnika

W projektach przenośników dobrano napędy, wartości oporów rozruchowych oraz program rozruchu dla stanu pełnego załadowania przenośnika. Przy ruszaniu przenośnika pustego występuje znaczna nadwyżka momentu rozruchowego nad momentem obciążenia. Na pustym przenośniku występuje moment obciążenia około 4 razy mniejszy oraz moment bezwładności około 6 razy mniejszy niż na przenośniku w pełni załadowanym.



Rys. 3. Wyliczony przebieg momentu rozruchowego wg nowego rozwiązania

Wykorzystano obliczenia firmy zewnętrznej oraz nieznacznie zmieniono opracowany program rozruchu.

W przyjętym rozwiązaniu zwiększono wartość rezystorów i ilość stopni rozruchowych oraz wprowadzono indywidualne załączenia napędów.

Dla każdego przenośnika istnieje ponad 20 programów rozruchu, zależnych od stanu załadowania przenośnika (wskazania mocy w ruchu ustalonym) oraz odstawienia napędów.

W każdym programie rozruchu prowadzony jest rozruch prędkościowo – czasowy, z określeniem czasu minimalnego.

Przy rozruchach z niewiadomym załadowaniem (brak wskazań mocy) rozruch prowadzony jest dla średniego załadowania z możliwością przejścia na program przewidziany dla większych obciążeń. Przejście na nowy program rozruchu następuje na podstawie oceny przyrostu prędkości w czasie 2 s.

Rozwiązanie będzie testowane pod koniec 2013 r. w ramach prowadzonych prac uruchomieniowych nowego ciągu, łączącego obie odkrywki.

## Wnioski

Przy wprowadzaniu nowych rozwiązań na przenośnikach warto korzystać z usług firm zewnętrznych, mających dużą wiedzę teoretyczną w konstruowaniu takich maszyn. Jednak najlepsze efekty przynosi włączanie do tego rodzaju innowacyjnych działań pracowników Kopalni, posiadających duże doświadczenie eksploatacyjne i odpowiednie przygotowanie merytoryczne. Zmiany wypracowane wewnątrz firmy można według potrzeb testować i poprawiać, aż do uzyskania oczekiwanych efektów.

Dzięki nowym algorytmom sterowania oraz wprowadzonym nowym funkcjom i rozwiązaniom, możliwe było ograniczenie zużycia energii przy transporcie urobku, mimo wydłużających się dróg transportowych.